

**SVEUČILIŠTE U SPLITU**  
**FAKULTET GRAĐEVINARSTVA, ARHITEKTURE I GEODEZIJE**

# **DIPLOMSKI RAD**

**Mario Maretić**

**Split, 2017.**

**SVEUČILIŠTE U SPLITU**  
**FAKULTET GRAĐEVINARSTVA, ARHITEKTURE I GEODEZIJE**

**Mario Maretić**

**Analiza funkcioniranja raskrižja Ulice Bruna  
Bušića i Poljičke ceste u programu SIDRA**

**Diplomski rad**

**Split, 2017.**

**SVEUČILIŠTE U SPLITU**

**FAKULTET GRAĐEVINARSTVA, ARHITEKTURE I GEODEZIJE**

**STUDIJ: DIPLOMSKI SVEUČILIŠNI STUDIJ GRAĐEVINARSTVA**

**KANDIDAT: MARIO MARETIĆ**

**BROJ INDEKSA: 583**

**KATEDRA: Katedra za prometnice**

**PREDMET: Prometna tehnika**

### **ZADATAK ZA DIPLOMSKI RAD**

Tema: Analiza funkcioniranja raskrižja Ulice Bruna Bušića i Poljičke ceste u programu SIDRA.

Opis zadatka:

Izvršiti analizu funkcioniranja raskrižja Ulice Bruna Bušića i Poljičke ceste. Za potrebe rada potrebno je izvršiti snimanje prometa u vršnom jutarnjem satu. Iz snimke je potrebno odrediti prometno opterećenje vozila i pješaka u 15 minutnim intervalima za svaki trak posebno i ukupno po manevru kretanja. Dobivene rezultate prikazati na skici. Također treba zabilježiti trajanje ciklusa i vremenski slijed faza ciklusa.

Za zadani privoz i 15 minutni interval, sa snimke treba odrediti početno izgubljeno vrijeme (Start-Up Lost Time  $l_1$ ) i zasićeno vrijeme slijeda (Saturation Headway  $h_0$ ) za svaki trak posebno i prikazati na skici.

Zatim treba izmjeriti *stopped-time delay* po trakovima (vrijeme od kada je vozilo došlo u kolonu do vremena kad je napustilo stop crtu). Zatim treba izračunati prosječni *delay* o zakašnjenju po manevru kretanja i privozu.

Provjeriti da li za lijeva skretanja treba zaštićena faza (protected) ili može i složena faza od dopuštenih i zaštićenih vremena (compound). Skicirati phase dijagram i ring dijagram za postojeći vremenski slijed faza.

Za predmetno raskrižje odrediti potrebno trajanje žutog i sve crvenog svjetla. Odrediti ukupno izgubljeno vrijeme (Lost Time). Odrediti sumu kritičnih volumena po traku uzimajući u obzir faktore ekvivalencije za lijeve i desne skretače, te odrediti poželjnu duljinu ciklusa i vremensku razdiobu faza. Odrediti potrebno vrijeme za pješake.

Napraviti analizu funkcioniranja raskrižja u programu SIDRA (parametri po HCM-u) korištenjem defaultnih vrijednosti te postojećeg vremenskog slijeda faza. Prikazati dobivene rezultate (delay, LOS). Probati drugo trajanje ciklusa i vremenski slijed faza koji su dobiveni računom u prethodnom koraku.

Napraviti analizu funkcioniranja raskrižja za mjerene vrijednosti (Start-Up Lost Time i Saturation Headway) te usporediti mjereni delay s dobivenim. Po potrebi napraviti kalibraciju. Također usporediti zakašnjenje sa zadanim Start-Up-om i zasićenim tokom te s mjerenim i stvarnim zakašnjenjem.

U Splitu, 14. 3. 2017.

Voditelj diplomskog rada:

**Prof.dr.sc. Dražen Cvitanić**

Predsjednik Povjerenstva za

Završne i diplomske ispite:

**Prof.dr.sc. Veljko Srzić**

# **Analiza funkcioniranja raskrižja Ulice Bruna Bušića i Poljičke ceste u programu SIDRA**

## ***Sažetak:***

Za potrebe rada izvršeno je brojanje prometa na križanju Ulice Bruna Bušića i Poljičke ceste u jutarnjem vršnom satu od 7:15 do 8:15. Na temelju izmjerenih parametara (početno izgubljeno vrijeme, zasićeno vrijeme slijeda i vrijeme zakašnjenja) i veličine prometa provedena je softverska analiza funkcioniranja raskrižja. Prvo su unesene početne izmjerene vrijednosti (veličina prometa, broj pješaka i ciklus rada semafora) te je time dobivena prva varijanta funkcioniranja raskrižja. Sljedeće varijante su nadogradnja prethodne na način da su u svakom idućem koraku uneseni dodatni izmjereni parametri kako bi se na kraju dobili rezultati što bliži stvarnom stanju. Za svaku varijantu su prikazani i međusobno uspoređeni rezultati kako bi se moglo utvrditi koji su parametri najkritičniji. Na samom kraju komentirani su rezultati i donesen je zaključak s prijedlozima mogućeg poboljšanja postojećeg stanja.

**Ključne riječi:** analiza raskrižja, početno izgubljeno vrijeme, zasićeno vrijeme slijeda, vrijeme zakašnjenja, SIDRA

## **Functional analysis of Bruna Bušića and Poljička street intersection in SIDRA software**

## ***Abstract:***

At the beginning of this work traffic counting on Bruna Bušića and Poljička street intersection was conducted in the morning peak hour between 7:15 till 8:15AM. Software analysis of intersection functionality was done based on parameters that have been determined (Start-Up Lost Time, Saturation Headway and stopped-time delay). Default values (traffic volumes, pedestrian volumes and phase timing) were used to get first variant of intersection functionality. Every following variant is an upgrade of previous with additional measured parameters in order to get results that are closer to real situation. For every variant results are presented and mutually compared to determine most critical parameters. In the end, results were discussed and conclusions with possible improvements were given.

**Keywords:** intersection analysis, Start-Up Lost Time, Saturation Headway, stopped-time delay, SIDRA

**Zahvala:**

*Zahvaljujem se svom mentoru prof. dr. sc. Draženu Cvitaniću na pruženoj pomoći i savjetima pri izradi ovog diplomskog rada.*

*Također, zahvaljujem se cijeloj svojoj obitelji koja me uvijek podržavala i upućivala na pravi put, a posebno svojim roditeljima bez kojih sve ovo što sam do sad postigao nebi bilo moguće.*

*Hvala svim mojim prijateljima koji su mi najljepše godine odrastanja učinili nezaboravnima.*

## Sadržaj:

1. Uvod .....	1
1.1. Općenito o prometnom inženjerstvu .....	1
1.2. Ciljevi prometnog inženjerstva .....	1
1.3. Odgovornost u prometnom inženjerstvu .....	2
2. Postojeće stanje .....	3
2.1. Prometno opterećenje .....	5
2.2. Faze signalizacije .....	7
2.3. Saturation Headway i Start-Up Lost Time .....	8
2.4. Stopped-time delay .....	9
2.5. Phase dijagram i Ring dijagram .....	11
3. Analiza funkcioniranja raskrižja .....	12
3.1. Provjera potrebe za zaštićenom fazom .....	12
3.2. Određivanje sve crvenog i žutog svjetla .....	16
3.3. Određivanje izgubljenih vremena .....	18
3.4. Određivanje sume kritičnih volumena .....	19
3.5. Određivanje zadovoljavajućeg trajanja ciklusa .....	21
3.6. Određivanje potrebnog vremena za pješake .....	22
4. Software-ska analiza .....	25
4.1. Prva varijanta: Default-ne vrijednosti .....	26
4.2. Druga varijanta: Promjena Basic Saturation Flow-a .....	30
4.3. Treća varijanta: Start Loss .....	33
4.4. Četvrta varijanta: Zaustavljanje autobusa .....	35
4.5. Peta varijanta: Postotak dolazka vozila na zeleno svjetlo .....	38
4.6. Šesta varijanta: Pješaci .....	41
4.7. Promjena Basic Saturation Flow-a .....	44
5. Usporedba rezultata .....	47
6. Zaključak .....	48
7. Literatura .....	49

# 1. Uvod

## 1.1. Općenito o prometnom inženjerstvu

Primarne značajke prometnog inženjerstva su tehnološki i znanstveni pristup planiranju, projektiranju, funkcionalnom uređenju, održavanju i upravljanju raznih oblika transporta u svrhu sigurnijeg, bržeg, udobnijeg, efikasnijeg, ekonomičnijeg i okolini prilagodljivog prijevoza ljudi i robe.

Prometno inženjerstvo je dio transportnog inženjerstva koji se bavi problemima planiranja, geometrijskim karakteristikama i prometnim operacijama na cestama, ulicama i autocestama.

## 1.2. Ciljevi prometnog inženjerstva

Primarni i osnovni cilj prometnog inženjerstva jest osigurati sigurnost u cijelom prometnom sustavu, što nije lagan zadatak. Smanjenje broja nesreća je odraz brojnih mjera za koje su uvelike zaslužni prometni inženjeri. Vremenom su postroženi prometni prekršajni zakoni, značajno poboljšana vozno-dinamička sposobnost i sigurnost samih vozila. Poboljšanja u projektiranju cesta, bolja i brža komunikacija kontrolnog prometnog sustava i nadzor prometa uvelike su doprinijeli smanjenju broja nesreća. Cilj sigurnog putovanja je uvijek na prvom mjestu i predstavlja nikad završen problem za prometnog inženjera.

Ostali ciljevi prometnog inženjerstva su:

- brzina
- udobnost
- korisnost
- ekonomičnost
- ekološka prilagodljivost

Navedeni ciljevi su očigledni prohtjevi putnika. Većina ih želi da putovanja budu što brža, udobnija, jeftinija i ekološki prihvatljivija. Svi ovi ciljevi su ujedno i relativni te moraju biti međusobno uravnoteženi i podređeni primarnom cilju sigurnosti.



Iako se traži što veća brzina putovanja, ona je ograničena transportnim zahtjevima, ljudskim karakteristikama i potrebom za provedbom sigurnosti. Udobnost je fizička karakteristika samih vozila i pometnice, te je pod utjecajem ljudskog poimanja sigurnosti. Korisnost se veže za lakoću kojom ostvarujemo svoja putovanja i sposobnost transportnog sustava da zadovolji sve potrebe u prihvatljivom vremenu. Što se ekonomičnosti tiče, transportni sustav teško se može definirati kao "jeftin". Projektiranje, izrada, održavanje i operativni troškovi svega vezanog uz promet kulminiraju velikim novčanim iznosima. Tijekom vremena ekološka prilagodljivost postala je sve više važna. Svi transportni sistemi imaju nekoliko negativnih utjecaja na okoliš.

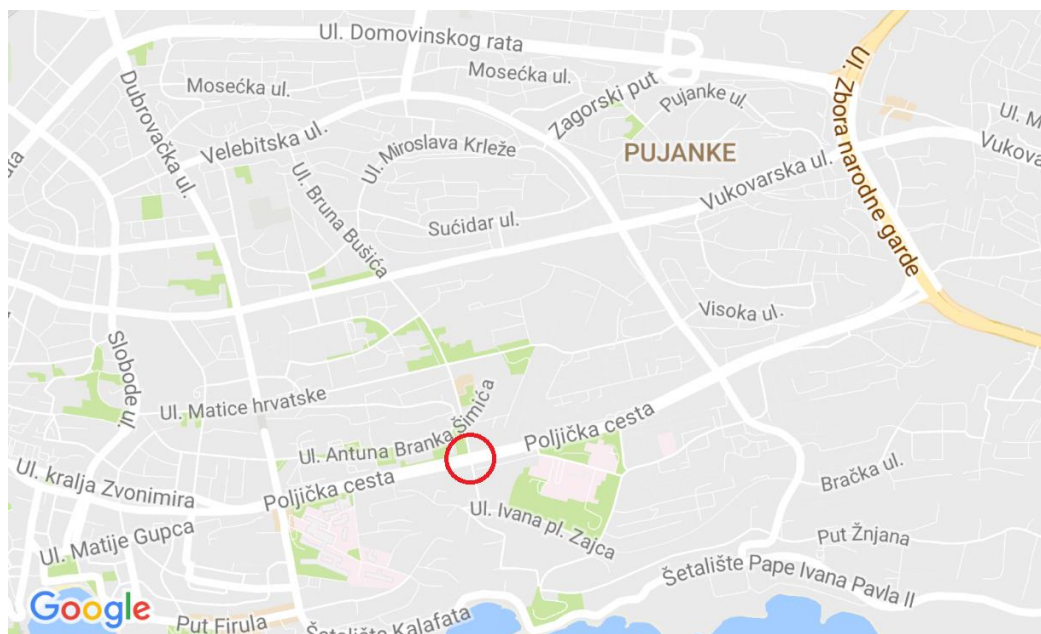
Prometni inženjer ima zadatak optimizirati navedene ciljeve i upotrebu javnih sredstava za gradnju, održavanje i korištenje objekata transportnog sustava.

### **1.3. Odgovornost u prometnom inženjerstvu**

Prometni inženjer ima poseban odnos s javnošću u cijelosti. Možda više nego svi ostali inženjeri, on se suočava sa svakodnevnom sigurnošću velikog broja korisnika. Iako se može reći da svaki inženjer koji izrađuje nekakav projekt ima tu odgovornost, nekolicina inženjera izrađuju projekte koje korisnici upotrebljavaju svakodnevno i frekventno te ovise o njemu u potpunosti. Zbog toga prometni inženjer ima posebnu obvezu iskoristiti svo dostupno znanje, najmoderniju tehnologiju i resurse da se suoči s problemom ljudske sigurnosti.

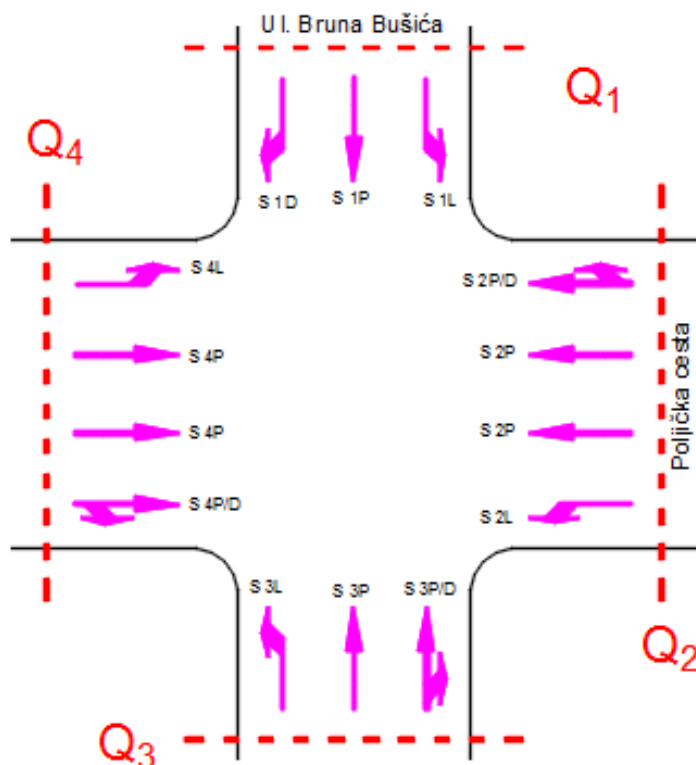
## 2. Postojeće stanje

Lokacija promatranog raskrižja nalazi se u Splitu, na križanju Ulice Bruna Bušića i Poljičke ceste (slika 2.1.). Poljička cesta je jedna od najvećih i najdužih prometnica u gradskoj mreži. Predstavlja jedan od dva glavna ulaza/izlaza iz grada Splita te kao takva je jedna od najopterećenijih prometnica.



Slika 2.1. Lokacija raskrižja

Smjer Q1 je sjeverni prilaz Ulice Bruna Bušića te se sastoji od 3 prometna traka (po jedan za lijevo i desno skretanje i jedan za naprijed). Smjer Q2 zapadni je prilaz Poljičke ceste koji se sastoji od 4 prometna traka (dva naprijed, jedan kombinirano desno i naprijed i jedan za lijevo skretanje). Smjer Q3 je južni prilaz Ulice Bruna Bušića i sastoji se od 3 prometna traka (jedan lijevo, jedan naprijed, jedan kombinirano desno i naprijed). Smjer Q4 je istočni prilaz Poljičke ceste te je isti kao i smjer Q3 što se prometnih trakova tiče. Svi smjerovi su zorno prikazani i vidljivi na skici (slika 2.2.) i satelitskom snimku (slika 2.3.).



Slika 2.2. Skica smjerova na raskrižju



Slika 2.3. Satelitski snimak raskrižja

Promatrano raskrižje je semaforizirano u četiri faze. Smjerovi Q<sub>1</sub> i Q<sub>3</sub> imaju zajedničku fazu u kojima se pojavljuje kombinirana (compound) faza za lijeve skretače. Smjerovi Q<sub>2</sub> i Q<sub>4</sub> također imaju zajedničku fazu, ali se kod njih pojavljuje potpuno zaštićena (fully-protected) faza za lijeve skretače.

## 2.1. Prometno opterećenje

Izvršeno je snimanje prometa na spomenutom raskrižju u vršnom jutarnjem satu od 7:15 do 8:15, datuma 14. ožujka 2017. Iz snimaka je urađeno brojanje vozila i pješaka iz svih smjerova. Dobivene vrijednosti za svaki manevar kretanja su prikazane u tablicama (2.1.-2.4.) i na slici (2.4.).

**Tablica 2.1.** Količina prometa za smjer Q1

SMJER Q1											
	LIJEVO			NAPRIJED			DESNO				
Vrijeme	PA	BUS	TA	PA	BUS	TA	PA	BUS	TA	Ukupno	PJEŠACI
7:15-7:30	75	0	0	25	0	1	46	0	2	149	46
7:30-7:45	90	0	2	30	0	1	31	1	1	156	96
7:45-8:00	91	1	2	68	0	1	53	2	1	219	76
8:00-8:15	95	1	1	50	0	2	39	2	3	193	47
Ukupno	351	2	5	173	0	5	169	5	7		

SMJER Q1	
Uk.vozila:	717
Uk.pješaka:	265

**Tablica 2.2.** Količina prometa za smjer Q2

SMJER Q2											
LIJEVO			NAPRIJED			DESNO					
Vrijeme	PA	BUS	TA	PA	BUS	TA	PA	BUS	TA	Ukupno	PJEŠACI
7:15-7:30	48	0	3	216	7	4	44	1	0	323	34
7:30-7:45	57	0	5	284	9	6	75	2	1	439	55
7:45-8:00	58	0	2	265	7	18	88	0	5	443	93
8:00-8:15	54	0	2	272	4	17	73	1	3	426	51
Ukupno	217	0	12	1037	27	45	280	4	9		

SMJER Q2	
Uk.vozila:	1631
Uk.pješaka:	233

**Tablica 2.3.** Količina prometa za smjer Q3

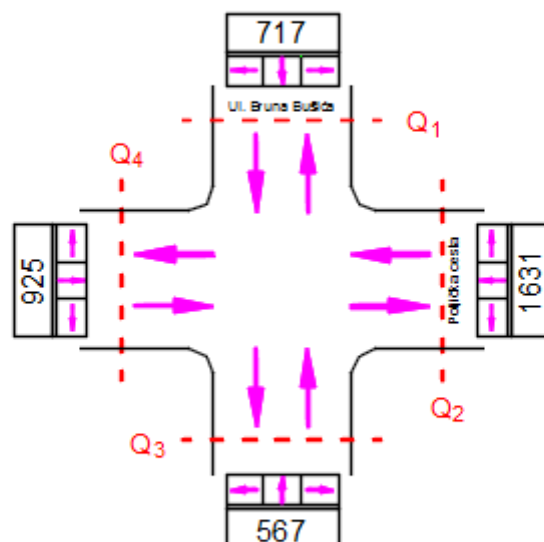
SMJER Q3											
	LJEVO			NAPRIJED			DESNO				
Vrijeme	PA	BUS	TA	PA	BUS	TA	PA	BUS	TA	Ukupno	PJEŠACI
7:15-7:30	46	1	0	44	0	0	6	0	0	97	43
7:30-7:45	70	0	2	57	0	1	12	0	0	142	71
7:45-8:00	89	1	2	88	0	0	20	0	0	200	90
8:00-8:15	61	0	2	47	0	1	17	0	0	128	48
Ukupno	266	2	6	236	0	2	55	0	0		

SMJER Q3	
Uk.vozila:	567
Uk.pješaka:	252

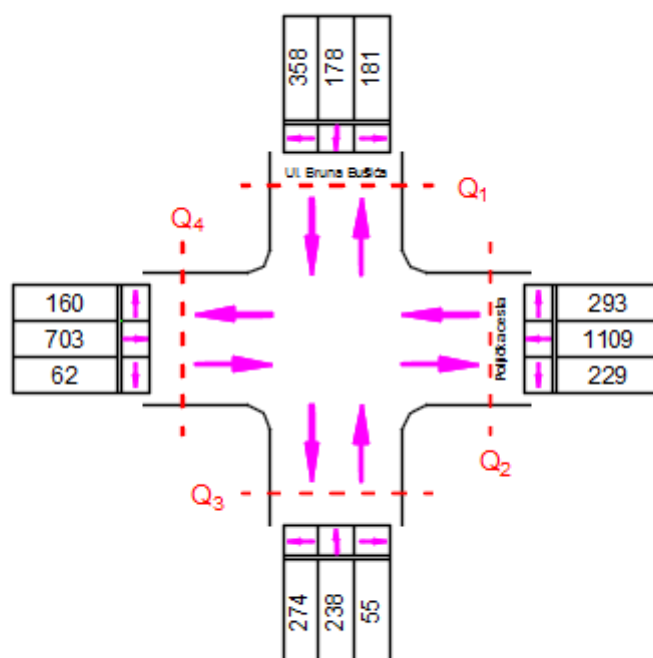
**Tablica 2.4.** Količina prometa za smjer Q4

SMJER Q4											
LIJEVO				NAPRIJED			DESNO			Ukupno	PJEŠACI
Vrijeme	PA	BUS	TA	PA	BUS	TA	PA	BUS	TA		
7:15-7:30	24	2	1	136	5	8	9	3	1	189	31
7:30-7:45	39	0	1	169	6	16	8	2	1	242	54
7:45-8:00	49	0	4	157	3	13	20	0	2	248	68
8:00-8:15	39	0	0	151	9	5	14	2	0	220	47
Ukupno	151	2	6	613	23	42	51	7	4		

SMJER Q4	
Uk.vozila:	899
Uk.pješaka:	200



Slika 2.4. Prikaz količine prometa po pojedinom privozu



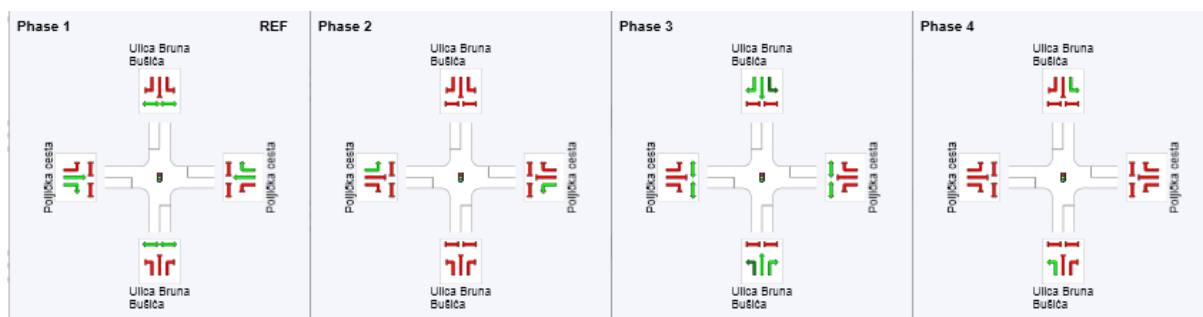
Slika 2.5. Prikaz količine prometa po pojedinom traku

## 2.2. Faze signalizacije

Signalizacija se sastoji od više komponenti koje zajedno u cjelini daju režim rada semafora. Navedene komponente se dijele na:

- **CIKLUS** – jedna kompletna rotacija svih faza rada semafora
- **TRAJANJE CIKLUSA** – vrijeme potrebno da se završi jedan puni ciklus svih faza rada semafora mjereno u sekundama
- **INTERVAL** – vrijeme u kojem ne dolazi do promjene faze unutar ciklusa. Postoji nekoliko tipova intervala:
  - INTERVAL PROMJENE – prijelaz iz zelenog u crveno svjetlo pomoću žutog svjetla, dok su na svim ostalim privozima upaljena crvena svjetla. To je vrijeme koje dopušta vozaču koji se ne može sigurno zaustaviti na promjenu zelenog svjetla da prođe kroz raskrižje legalno
  - VRIJEME PRAŽNJE – je također vrijeme prijelaza iz zelenog u crveno svjetlo tijekom kojeg je na svim prilazima upaljeno crveno svjetlo kako bi vozači koji su u raskrižju sigurno prošli kroz isto
  - ZELENI INTERVAL – tijekom zelenog intervala privozi kojima je dopušteno kretanje imaju zeleno svjetlo, dok ostali imaju crveno svjetlo
  - CRVENI INTERVAL – tijekom crvenog intervala privozi kojima je zabranjeno kretanje imaju crveno svjetlo, dok ostali imaju zeleno svjetlo. U pravilu se ovaj interval preklapa sa zelenim, žutim i sve crvenim intervalom
- **FAZA** – pojedina faza se sastoji od zelenog intervala zajedno s intervalima promjene i pražnjenja. To je skup intervala koji dozvoljava određenom manevru kretanju ili skupini kretanja da teku i da se sigurno zaustave prije puštanja konfliktne skupine kretanja.

Analizirano raskrižje sastoji se od dvije osnovne faze rada semafora sa dodatnim vremenom za lijeva skretanja. Prva faza je ona u kojoj vozila iz smjera Q2 i Q4 imaju dopušteno kretanje naprijed i desno. Iduća faza je faza dodatnog zaštićenog lijevog skretanja za vozila iz smjerova Q2 i Q4. Treća faza omogućava kretanje svih tipova iz smjerova Q1 i Q3, dok je četvrta faza dodatno lijevo skretanje iz navedenih smjerova. Opisane faze su prikazane u softveru SIDRA (slika 2.5.)



Slika 2.6. Faza rada semafora

Trajanje ukupnog ciklusa iznosi 90 sekundi, a trajanje svake pojedine faze prikazano je na slici 2.6.

Phase Timing Results				
Phase	1	2	3	4
Reference Phase	Yes	No	No	No
Phase Change Time (sec)	0	35	53	77
Green Time (sec)	31	13	19	8
Yellow Time (sec)	3	3	3	0
All-Red Time (sec)	2	2	2	4
Phase Time (sec)	35	18	24	13
Phase Split	39%	20%	27%	14%

Slika 2.7. Trajanje svake pojedine faze

### 2.3. Saturation Headway i Start-Up Lost Time

Idealno zasićeno vrijeme slijeda (Saturation Headway) određuje se kao prosječna vrijednost vremena slijeda od petog do zadnjeg vozila u koloni prije početka zelene faze ili do pojave vozila koje nije osobno (kamion, autobus,...). Ako svako vozilo potroši 'h' sekundi zelenog svjetla i ako je na semaforu *stalno* zeleno svjetlo, tada se može reći da 's' vozila može ući u raskrižje tokom jednog sata. Ovime možemo definirati *saturation flow rate* koji glasi:

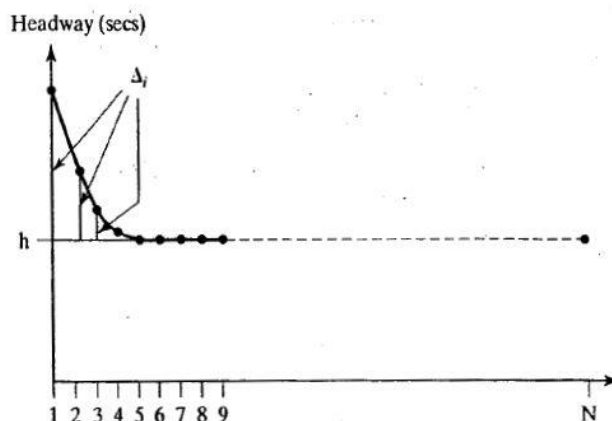
$$S = \frac{3600}{h} \quad (2.1.)$$

S – saturation flow rate, broj vozila po satu zelenog svjetla po traku

h – zasićeno vrijeme slijeda (sek/voz)

Povećavanjem broja trakova za određeni manevar kretanja omogućavamo da pojedini privoz ima veći kapacitet vozila u satu. Saturation flow rate zapravo predstavlja kapacitet traka/trakova u idealnom slučaju kada je na semaforu stalno upaljeno zeleno svjetlo.

Prosječno zasićeno vrijeme slijeda po vozilu je u principu veće od 'h' sekundi. Prva četiri vremena su skoro uvijek veća od 'h' sekundi, što je i ilustrirano na grafu (slika 2.7.) gdje je N broj vozila u koloni, a  $\Delta_i$  predstavlja vremenski razmak svakom sljedećem vozilu da prijeđe stop liniju.



Slika 2.8. Graf ovisnosti zasićenog vremena slijeda i broja vozila u koloni

Iz grafa je vidljivo da prva četiri vremena uključuju i samu reakciju vozača te su samim time ta vremena i najveća. Što je veći broj vozila u koloni, ta vremena će postajati sve konstantnija. Kada se međusobno dodaju sva vremena  $\Delta_i$  dobije se *početno izgubljeno vrijeme* (Start-Up Lost Time):

$$l_1 = \sum_i \Delta_i \quad (2.2.)$$

$l_1$  – Start-Up Lost Time (sek/faza)

$\Delta_i$  – vremenski razmak (iznad 'h' sekundi) za vozilo i (sek)

Može se reći da je početno izgubljeno vrijeme suma razlika vremena slijeda prva četiri vozila u koloni i zasićenog vremena slijeda.

## 2.4. Stopped-time delay

Najčešće korištena mjera za opis kvalitete funkcioniranja signaliziranih raskrižja je *vrijeme zakašnjenja* (delay). Moguće ga je izmjeriti na terenu, iako je to težak proces zbog toga što različiti promatrači mogu dobiti veoma drukčije zaključke i rezultate mjerenja.

Delay se može odrediti na mnogo načina. U konkretnoj analizi korištena je jedna od najučestalijih formi, a to je *stopped-time delay*. On je definiran kao vrijeme od kada je vozilo došlo u kolonu, do vremena kad su mu zadnji kotači prešli stop liniju.

Izvršena su mjerenja u vremenskom razdoblju od 7:30 do 7:45. U tom 15-minutnom intervalu izmjenilo se 10 ciklusa rada semafora. Od 10 izmjerenih vrijednosti dobivena je prosječna vrijednost svakog parametra. Mjerenja su izvršena za svaki trak posebno, kao i za svaki manevar kretanja. Uzima se da je mjerodavan samo manevar kretanja naprijed, no izvršena su ipak sva mjerenja zbog bolje usporedbe rezultata.



U sljedećim tablicama dane su prosječne izmjerene vrijednosti početnog vremena slijeda, zasićenog vremena slijeda kao i vremena zakašnjenja za svaki pojedini trak u privozima:

Tablica 2.5. Legenda izmjerenih parametara

SH	saturation headway	sek
SULT	start-up lost time	sek
TST	total stopped time	min
AST	average stopped time	sek/vozilo
TV	total volume	br.vozila
MQ	max queue	br.vozila

\*AST predstavlja zapravo stopped-time delay

Tablica 2.6. Prosječne izmjerene vrijednosti za smjer Q1

	SMJER Q1					
Manevar kretanja	SH	SULT	TST	AST	TV	MQ
LIJEVO	2,83	2,80	62,16	45,49	82	14
NAPRIJED	2,43	0,60	7,63	24,09	19	3
DESNO	2,45	4,58	13,60	30,21	27	5

Tablica 2.7. Prosječne izmjerene vrijednosti za smjer Q2

	SMJER Q2					
Manevar kretanja	SH	SULT	TST	AST	TV	MQ
LIJEVO	2,25	0,70	4,63	44,04	57	6
NAPRIJED (1.trak)	1,83	1,67	4,04	40,25	48	6
NAPRIJED (2.trak)	1,82	1,83	4,48	43,85	49	6
DESNO	3,55	-3,81	5,68	50,16	34	7

Tablica 2.8. Prosječne izmjerene vrijednosti za smjer Q3

	SMJER Q3					
Manevar kretanja	SH	SULT	TST	AST	TV	MQ
LIJEVO	2,61	5,72	37,42	29,94	75	10
NAPRIJED	2,20	3,21	16,53	29,17	34	7
DESNO	2,16	2,46	12,83	29,60	26	5

Tablica 2.9. Prosječne izmjerene vrijednosti za smjer Q4

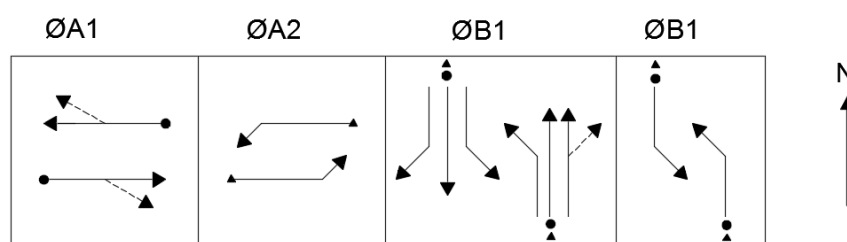
	SMJER Q4					
Manevar kretanja	SH	SULT	TST	AST	TV	MQ
LIJEVO	1,50	1,98	2,69	41,56	33	3
NAPRIJED (1.trak)	2,00	2,15	5,76	32,23	41	14
NAPRIJED (2.trak)	2,26	0,42	6,18	26,34	52	17
DESNO	2,09	0,95	7,47	47,34	29	9

## 2.5. Phase dijagram i Ring dijagram

Plan svake pojedine faze unutar jednog ciklusa obično se prikazuje pomoću *phase* i *ring* dijagrama. Kod oba dijagrama dopuštena kretnja vozačima je prikazana pomoću strelice. Koriste se razni oblici strelica pošto su kretnje međusobno različite:

- PUNA STRELICA označava kretnju koja nema konfliktnu kretnju. Kod lijevih skretača bi to značilo da nema toka vozila iz suprotnog smjera, dok bi kod desnih skretača to značilo da nema konfliktnih pješaka.
- ISPREDIDANA STRELICA označava lijeva i desna skretanja koja imaju konflikte u vidu vozila iz suprotnog smjera ili pješaka
- SPOJENE STRELICE označavaju više mogućih kretnji iz jednog traka
- ODVOJENE STRELICE najčešće označavaju sve moguće kretnje koje su nastale iz jednog traka (npr. dodatni trak za lijeve skretače)

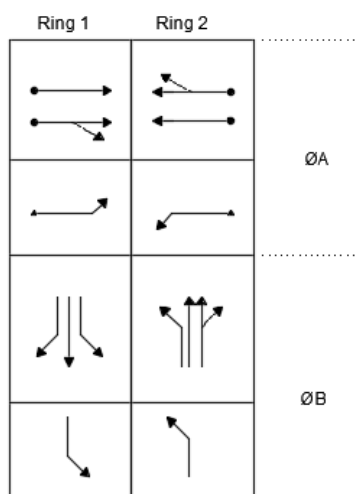
Phase dijagram prikazuje sve kretnje koje se dogode unutar jedne faze te ih sve zajedno smješta u jedan blok dijagrama.



Slika 2.9. Phase dijagram

Ring dijagram prikazuje koje su kretnje kontrolirane kojim "krugom" u signalnoj kontroli. "Krug" u signalnoj kontroli generalno predstavlja jednu grupu signalnih faza.

U *phase* dijagramu dva suprotna toka kretanja će biti prikazani u jednom bloku *phase* dijagrama, dok u *ring* dijagramu svaki od toka kretanja bit će prikazani razdvojeno unutar svog bloka *ring* dijagrama.



Slika 2.10. Ring dijagram

### 3. Analiza funkcioniranja raskrižja

U ovom poglavlju rad se dotiče računanja potrebnih vremenskih faza, određivanje potrebe za zaštićenom zelenom fazom lijevih skretača, određivanje idealnog ciklusa rada semafora (tranje žutog, sve crvenog, potrebno trajanje svjetla za pješake i sl.) po privozu obzirom na prometno opterećenje i geometrijske karakteristike raskrižja. Dobiveni rezultati uspoređeni su sa stvarnim vrijednostima i komentirani.

#### 3.1. Provjera potrebe za zaštićenom fazom

Najvažija stavka ciklusa koja dovodi do razvoja faznog plana jest tretman lijevih skretača. Lijeva skretanja mogu biti:

- DOPUŠTENA (premitted) - kada postoji konflikt s vozilima iz suprotnog smijera
- ZAŠTIĆENA (protected) - kada je konflikt izbjegnut, odnosno kada lijeva skretanja imaju zasebnu fazu u signalizaciji
- KOMBINIRANA (compound) - kombinacija zaštićene i dopuštene faze, gdje su lijevi skretači dijelom vrmena izloženi konfliktu suprotnih vozila a dijelom su u zaštićenoj fazi

Najjednostavniji ciklus se sastoji od dvije faze, po jedna za svaku ulicu u križanju. Dodatne faze mogu se dodati ukoliko želimo osigurati zaštićenu fazu lijevih skretača, no to povećava izgubljeno vrijeme unutar ciklusa.

Dva glavna uvjeta koja daju uvid da li je za određeno lijevo skretanje potrebna dijelom zaštićena faza su:

$$v_{LT} \geq 200 \text{ voz/h} \quad (3.1.)$$

$$x_{prod} = v_{LT} * \left(\frac{v_0}{N_0}\right) \quad (3.2.)$$

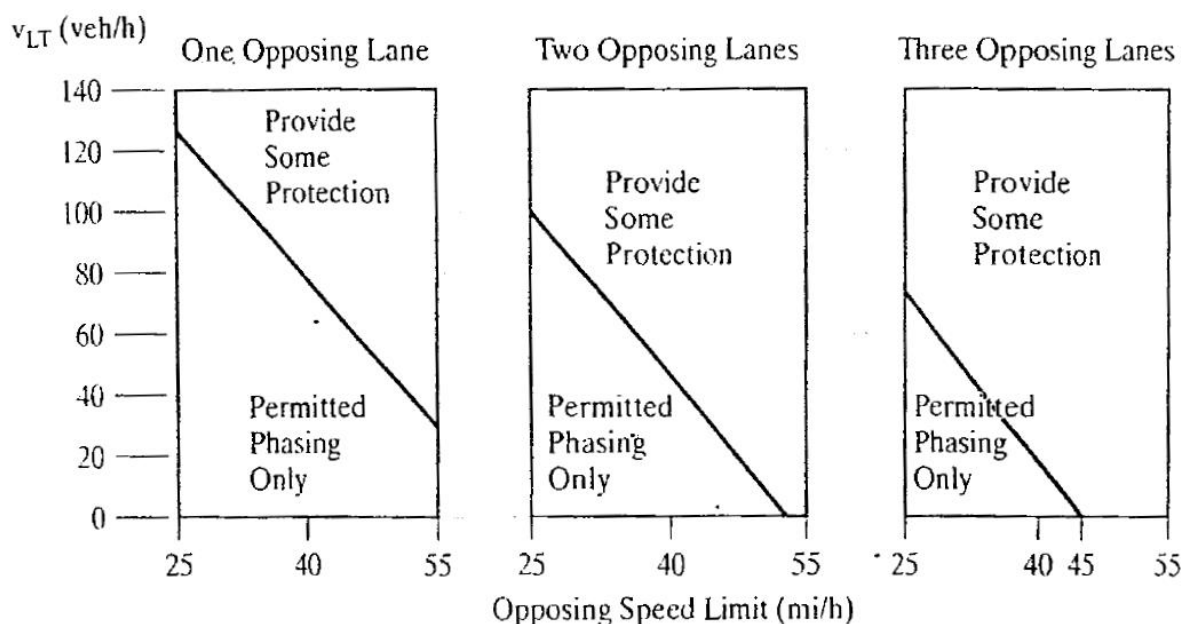
$v_{LT}$  - broj lijevih skretača po satu (voz/h)

$v_0$  - broj vozila iz konfliktnog smijera ( voz/h)

$N_0$  - broj traka konfliktnog smijera

Postoje i dodatni kriteriji koji se uzimaju u obzir kod određivanja zaštićene i dijelom zaštićene faze lijevih skretača:

1. Odnos zahtjevanog lijevog toka vozila unutar vršnog sata i brzine prometa iz konfliktnog smjera (graf na slici 3.1.)
2. Zadovoljena duljina preglednosti za lijeve skretače
3. Broj nesreća lijevih skretača koji se dogodio u zadnje tri godine manji od 8 (odnosi se na dopuštenu fazu)



Slika 3.1. Graf preporučenog odabira kriterija zaštite lijevih skretača

Ako je prethodnim kriterijima dobiveno da je nužna zaštita lijevih skretača, potrebno je odrediti vrstu zaštite, odnosno odabrati između potpuno zaštićenog i kombiniranog lijevog skretanja. Potpuno zaštićena faza se preporuča ukoliko su zadovoljena dva od sljedeća četiri kriterija:

- 1.1 Broj lijevih skretača je veći od 320 vozila po satu
- 1.2 Broj vozila iz konfliktnog smjera je veći od 1100 vozila po satu
- 1.3 Brzina vozila iz konfliktnog smjera je veća ili jednaka 70 km/h (45mph)
- 1.4 Postoje dvije ili više lijevih traka

Potpuno zaštićena faza također se preporučuje ako je barem jedan od sljedećih uvjeta ispunjen:

- 2.1 Postoje tri trake konfliktnog smjera i brzina prometa je veća ili jednaka 70 km/h (45mph)
- 2.2 Broj lijevih skretača je veći od 320 vozila po satu i postotak teških teretnih vozila je veći od 2.5%
- 2.3 Broj vozila iz konfliktnog smjera je veći od 1100 vozila po satu i postotak lijevih skretača je veći od 2.5%
- 2.4 Sedam ili više nesreća lijevih skretača se dogodilo unutar tri godine (odnosi se na kombiniranu fazu)
- 2.5 Prosječni stopped-delay lijevih skretača je prihvatljiv za potpuno zaštićenu fazu i prometni inženjer procjenjuje da će se dogoditi nesreće ako stavi dopuštenu fazu

Navedeni kriteriji pokazuju da se ne bi smijela primjeniti kombinirana faza. Preporuka je da se kombinirana faza uzima u obzir samo ako nijedan od navedenih kriterija nije ispunjen.

Za promatrano raskrižje dobiveni su slijedeći rezultati:

#### **SMJER Q1:**

$$v_{LT} = 351 > 200 \text{ voz/h} \quad - \text{potrebna zaštita}$$

$$x_{prod} = 351 * \left(\frac{263}{2}\right) = 41\,418 < 50\,000 \quad - \text{nije potrebna zaštita}$$

Iz grafa na slici 3.1. za dvije konfliktne trake i brzinu od 60km/h (35 mph) vidljivo je da je potrebno predvidjeti neku razinu zaštite.

Po provedenim kriterijima određeno je da je potrebna neka razina zaštite lijevih skretača.

#### **SMJER Q2:**

$$v_{LT} = 217 > 200 \text{ voz/h} \quad - \text{potrebna zaštita}$$

$$x_{prod} = 217 * \left(\frac{613}{3}\right) = 44\,340 < 50\,000 \quad - \text{nije potrebna zaštita}$$

Iz grafa na slici 3.1. za dvije konfliktne trake i brzinu od 60km/h (35 mph) vidljivo je da je potrebno predvidjeti neku razinu zaštite.

Po provedenim kriterijima određeno je da je potrebna neka razina zaštite lijevih skretača.

**SMJER Q3:**

$$v_{LT} = 266 > 200 \text{ voz/h} \quad - \text{ potrebna zaštita}$$

$$x_{prod} = 266 * \left(\frac{173}{1}\right) = 46\,018 < 50\,000 \quad - \text{ nije potrebna zaštita}$$

Iz grafa na slici 3.1. za dvije konfliktne trake i brzinu od 60km/h (35 mph) vidljivo je da je potrebno predvidjeti neku razinu zaštite.

Po provedenim kriterijima određeno je da je potrebna neka razina zaštite lijevih skretača.

**SMJER Q4:**

$$v_{LT} = 159 < 200 \text{ voz/h} \quad - \text{ nije potrebna zaštita}$$

$$x_{prod} = 159 * \left(\frac{1109}{3}\right) = 58\,777 > 50\,000 \quad - \text{ potrebna zaštita}$$

Iz grafa na slici 3.1. za dvije konfliktne trake i brzinu od 60km/h (35 mph) vidljivo je da je potrebno predvidjeti neku razinu zaštite.

Po provedenim kriterijima određeno je da je potrebna neka razina zaštite lijevih skretača.

Nakon što se za svaki privoz odredilo da je potrebna neka vrsta zaštite lijevih skretača, promatrani su se prije navedeni kriteriji za potpunu zaštićenu fazu.

Smjer Q1 ispunjava samo kriterij 1.1. po čemu nije potrebna potpuno zaštićena faza, već kombinirana faza.

Smjer Q2 ne ispunjava kriterije potpuno zaštićene faze, ali zbog većeg broja konfliktnih traka i količine prometa koristi se zaštićena faza, kako bi se spriječio veći broj nesreća.

Smjer Q3 ne ispunjava navedene kriterije te se koristi kombinirana faza za lijeve skretače.

Smjer Q4 ne ispunjava navedene kriterije iako je veoma blizu da ispuni kriterij 2.3, te je zbog toga uzeta potpuno zaštićena faza.

### 3.2. Određivanje sve crvenog i žutog svjetla

Žuto svjetlo predstavlja tranziciju između zelenog i crvenog svjetla unutar svake faze. Sve crveno svjetlo je period unutar kojeg na svakom privozu gori crveno svjetlo. Žuto svjetlo i sve crveno objašnjeni su u poglavlju 2.2. *Faze signalizacije* pod pojmovima *interval promjene* i *interval pražnjenja*. Interval trajanja žutog svjetla se određuje prema sljedećem izrazu:

$$y = t + \frac{1.47S_{85}}{2a+(64.4*0.01G)} \quad (3.2)$$

$y$  - trajanje žutog intervala (sek)

$t$  - vrijeme reakcije vozača (sek)

$S_{85}$  - brzina kojom se kreće 85% vozila kroz raskrižje (mph)

$a$  - usporavanje vozila (stopa/sek<sup>2</sup>)

$G$  - uzdužni nagib u %

64.4 - dvostruka vrijednost ubrzanje uzrokovano gravitacijom, koja iznosi 32.2 stopa/sek<sup>2</sup>

Interval trajanja sve crvenog svjetla određuje se prema sljedećim izrazima:

- za slučajeve kada nema pješačkog prometa

$$ar = \frac{W+L}{1.47S_{15}} \quad (3.3.)$$

- za slučajeve u kojem je značajan broj pješačkog prometa

$$ar = \frac{P+L}{1.47S_{15}} \quad (3.4.)$$

- za slučajeve u kojima postoji barem nekakav pješački promet

$$ar = \max\left[\left(\frac{W+L}{1.47S_{15}}\right), \left(\frac{P}{1.47S_{15}}\right)\right] \quad (3.5.)$$

$ar$  - vrijeme sve crvenog svjetla (sek)

$W$  - udaljenost između polazeće stop linije i najudaljenije konfliktne trake (stope)

$P$  - udaljenost između polazeće stop linije i najudaljenijeg pješačkog prijelaza (stope)

$L$  - duljina standardnog vozila, obično uzeta između 18-20 stopa

$S_{15}$  - brzina kojom se kreće 15% vozila kroz raskrižje

Za postizanje optimalne sigurnosti, izrazi za žuto i sve crveno svjetlo koriste različite brzine. To su brzine kojima se kreće 85% i 15% vozila kroz raskrižje. Ako je poznata prosječna brzina dolaska, prethodne brzine mogu se procijeniti kao:

$$S_{15} = S - 5 \quad (3.6.)$$

$$S_{85} = S + 5 \quad (3.7.)$$

$S_{15}$  - brzina kojom se kreće 15% vozila kroz raskrižje (mph)

$S_{85}$  - brzina kojom se kreće 85% vozila kroz raskrižje (mph)

$S$  - prosječna brzina (mph)

Gdje se ne mjere brzine dolaska u raskrižje, ali postoji ograničenja brzine, žuto i sve crveno svjetlo se određuju koristeći istu vrijednost brzine. To u praksi nije poželjno rješenje.

U promatranom raskrižju na prethodno opisani način određeno je trajanje žutog i sve crvenog svjetla. Žuto svjetlo je izračunato pomoću izraza 3.2. u kojem je  $t=1s$ ,  $a=10 \text{ ft/s}^2$ ,  $G=0\%$  te  $S_{85}=40\text{mph}$ :

$$y = t + \frac{1.47S_{85}}{2a + (64.4 * 0.01G)} = 1 + \frac{1.47 * 40}{20 + (64.4 * 0)} = 3.94 \text{ (s)}$$

Sve crveno svjetlo određeno je po izrazu 3.5. zbog postojanja umjerenog pješačkog prometa. Izmjeren je  $W=90 \text{ ft}$ , te  $P=60 \text{ ft}$ . Duljina standardnog vozila je  $L=18 \text{ ft}$ , dok je  $S_{15}=30\text{mph}$ :

$$ar = \max\left[\left(\frac{W+L}{1.47S_{15}}\right), \left(\frac{P}{1.47S_{15}}\right)\right] = \max\left[\left(\frac{108}{1.47*30}\right), \left(\frac{60}{1.47*30}\right)\right] = 2.45 \text{ (s)}$$



### 3.3. Određivanje izgubljenih vremena

Izgubljena vremena ovise o trajanju žutog i sve crvenog svjetla unutar ciklusa. Preporuča se upotreba zadanih vrijednosti:

- Start-Up Lost Time,  $l_1=2$  sek/fazi
- iskorištenost žutog i sve crvenog svjetla od strane vozača,  $e=2$  sek/fazi

Koristeći ove zadane vrijednosti, izgubljeno vrijeme po fazi i izgubljeno vrijeme po ciklusu mogu biti pretpostavljeni kako slijedi:

$$l_2 = Y - e \quad (3.8.)$$

$$Y = y + ar \quad (3.9.)$$

$$t_L = l_1 + l_2 \quad (3.10.)$$

$l_1$  - početno izgubljeno vrijeme (sek/fazi)

$l_2$  - vrijeme pražnjenja (sek/fazi)

$t_L$  - ukupno izgubljeno vrijeme (sek/fazi)

$y$  - trajanje žutog svjetla (sek)

$ar$  - trajanje sve crvenog svjetla (sek)

$Y$  - ukupno trajanje žutog i sve crvenog svjetla (sek)

U poglavlju 3.2. određeni su  $y=3.94s$  i  $ar=2.45s$ . Sada je moguće odrediti ukupno izgubljeno vrijeme u fazi:

$$Y = y + ar = 3.94 + 2.45 = 6.39 \text{ (s)}$$

$$l_2 = Y - e = 6.39 - 2 = 4.39 \text{ (s)}$$

$$t_L = l_1 + l_2 = 2 + 4.39 = 6.39 \text{ (s)}$$

Ukupno izgubljeno vrijeme po ciklusu je suma svih izgubljenih vremena unutar svake faze:

$$L = \sum_i^n t_{Li} = \sum_1^3 t_L = 19.17 \text{ (s)}$$

$L$  - ukupno izgubljeno vrijeme po ciklusu (sek)

$t_{Li}$  - izgubljeno vrijeme po fazi  $i$  (sek)

$n$  - broj faza unutar ciklusa

### 3.4. Određivanje sume kritičnih volumena

Kako bi mogli odrediti odgovarajuće trajanje ciklusa i podijeliti ga na odgovarajuća trajanja zelenog svjetla unutar svake faze, nužno je naći sumu kritičnih volumena za svaku pojedinu fazu unutar ciklusa.

Kritični volumen predstavlja količinu prometa po svakom traku koja kontrolira potrebno trajanje određene faze. Ovu definiciju kompliciraju dva faktora:

- Volumeni se ne mogu jednostavno usporediti. Teška teretna vozila trebaju više vremena od osobnih automobila, lijevi i desni skretači zahtijevaju više vremena od vozila koja idu naprijed, vozila koja dolaze iz privoza u padu zahtijevaju manje vremena od vozila na ravnom i u usponu kako bi prošla kroz raskrižje.
- Ako u faznom planu dolazi do preklapanja elemenata, ring dijagram mora biti pažljivo određen u svrhu određivanja kritičnog toka

Kod određivanja kritičnih volumena mjerodavan je manevar kretanja za naprijed. Potrebno je manevre skretanja pretvoriti u volumene kretanja pravo. To se radi pomoću faktora ekvivalencije (tablice 3.1. i 3.2.).

Tablica 3.1. Faktori ekvivalencije za lijeve skretače,  $E_{LT}$

Opposing Flow $V_o$ (veh/h)	Number of Opposing Lanes, $N_o$		
	1	2	3
0	1.1	1.1	1.1
200	2.5	2.0	1.8
400	5.0	3.0	2.5
600	10.0*	5.0	4.0
800	13.0*	8.0	6.0
1,000	15.0*	13.0*	10.0*
$\geq 1,200$	15.0*	15.0*	15.0*
$E_{LT}$ for all <i>protected</i> left turns = 1.05			

Tablica 3.2. Faktori ekvivalencije za desne skretače,  $E_{RT}$

Pedestrian Volume in Conflicting Crosswalk, (peds/h)	Equivalent
None (0)	1.18
Low (50)	1.21
Moderate (200)	1.32
High (400)	1.52
Extreme (800)	2.14

Faktori ekvivalencije za lijeve skretače ovise o konfliktnim vozilima  $V_0$ , koja predstavljaju samo ona vozila koja produžuju ravno kroz raskrižje. Faktori ekvivalencije za desne skretače ovise o broju konfliktnog pješačkog prometa.

Jednom kad su odabrani faktori  $E_{LT}$  i  $E_{RT}$ , svi lijevi i desni skretni volumeni moraju biti pretvoreni u njihov ekvivalent volumena za kretanju naprijed:

$$V_{LTE} = V_{LT} * E_{LT} \quad (3.11.)$$

$$V_{RTE} = V_{RT} * E_{RT} \quad (3.12.)$$

$V_{LTE}$  - volumen lijevih skretača prikazan kao ekvivalent vozila koja idu naprijed (voz/h)

$V_{RTE}$  - volumen desnih skretača prikazan kao ekvivalent vozila koja idu naprijed (voz/h)

Izračunati ekvivalenti se dodaju volumenu vozila koji idu naprijed kako bi se dobio ukupni ekvivalentni volumen po privozu:

$$V_{EQ} = V_{LTE} + V_{TH} + V_{RTE} \quad (3.13.)$$

$$V_{EQL} = \frac{V_{EQ}}{N} \quad (3.14.)$$

$V_{EQ}$  - ukupni volumen po privozu (voz/h)

$V_{EQL}$  - ukupni volumen po traku (voz/h)

$N$  - broj trakova

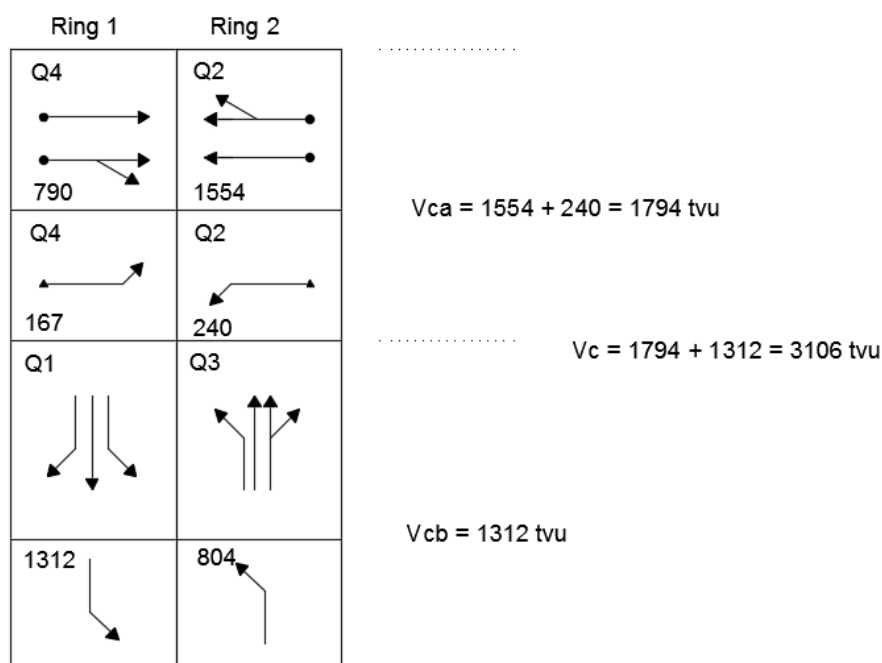
Traženje kritičnog volumena za fazni plan zahtijeva određivanje kritičnog puta unutar tog plana. To se radi na način da se unutar plana pronađe najveća moguća suma kritičnih volumena. Zbog toga što većina planova sadrži dva "kruga"(rings), alternativni putevi se suočavaju s ta dva potencijalna "kruga" za svaki dio faznog plana. Također treba napomenuti da kritični put može promijeniti "krug" na svakoj punoj faznoj granici.

U tablici 3.3. prikazani su odabrani faktori ekvivalencije te izračunati svi potrebni volumeni po privozu i svakom traku:

Tablica 3.3. Prikaz izračunatih ekvivalentnih kritičnih volumena

Privoz	Manevar kretanja	VOLUMEN (voz/h)	FAKTOR EKV.	EKV.VOLUMEN (voz/h)	VOLUMEN PO PRIVOZU (voz/h/priv)	VOLUMEN PO TRAKU (voz/h/trak)
SMJER Q1	LIJEVO	358	2,50	895	1312	437
	NAPRIJED	178	1,00	178		
	DESNO	181	1,32	239		
SMJER Q2	LIJEVO	229	1,05	240	1795	449
	NAPRIJED	1109	1,00	1109		
	DESNO	293	1,52	445		
SMJER Q3	LIJEVO	274	1,80	493	804	268
	NAPRIJED	238	1,00	238		
	DESNO	55	1,32	73		
SMJER Q4	LIJEVO	159	1,05	167	957	239
	NAPRIJED	688	1,00	688		
	DESNO	67	1,52	102		

Izračun kritičnog puta i ukupni ekvivalentni volumen ilustriran je na slici 3.2.



Slika 3.2. Određivanje kritičnog puta

Faza B ne može se razdvojiti u dvije podfaze zbog kombinirane (compound) faze lijevih skretača pa se računa kao jedna zasebna cjelina.

### 3.5. Određivanje zadovoljavajućeg trajanja ciklusa

Zadovoljavajuće trajanje ciklusa dobiva se pomoću ekvivalentnih kritičnih volumena i zadane vrijednosti kapaciteta toka, koja iznosi 1615 vozila koja prođu naprijed kroz raskrižje unutar jednog sata trajanja zelenog svjetla. Ta vrijednost je dobivena na temelju prosječne širine trakova, postotka teških teretnih vozila, nagiba, prisutnosti parkinga, broju pješaka, kretnjama autobusa i geografskom području. Uobičajeno se ta vrijednost kreće u rasponu od 1500 do 1700, ovisno o postotku lijevih i desnih skretača. Nakon svega navedenog, trajanje ciklusa se može odrediti prema izrazu:

$$C_{des} = \frac{L}{1 - \left[ \frac{V_c}{1615 * PHF * (\frac{v}{c})} \right]} \quad (3.15.)$$

$C_{des}$  - zadovoljavajuće trajanje ciklusa (sek)

$L$  - ukupno izgubljeno vrijeme u ciklusu (sek/ciklus)

$PHF$  - faktor vršnog sata

$\frac{v}{c}$  - traženi omjer za kritične kretnje u raskrižju

Upotreba faktora vršnog sata osigurava da možemo promatrati period od vršnih 15 minuta unutar jednog sata. Željeni koeficijent saturiranosti kreće u rasponu od 0.85 do 0.95. Vrlo niske vrijednosti povećavaju zakašnjenje (delay) zbog toga što su vozači prisiljeni čekati dok neiskorišteno zeleno svjetlo završi. Vrijednosti veće od 0.95 pokazuju da su unutar ciklusa ili faze moguća stvaranja kolona te se zbog toga također povećava vrijeme zakašnjenja (delay).

U poglavlju 3.3. izračunata je ukupna vrijednost izgubljenog vremena  $L=19.17s$ , a u poglavlju 3.4. izračunata je suma kritičnih volumena  $V_c=3106$  voz/h. Faktor vršnog sata  $PHF$  i omjer  $v/c$  imaju istu vrijednost koja iznosi 0.95. Za konkretnu analizu izračunata je vrijednost trajanja ciklusa:

$$C_{des} = \frac{L}{1 - \left[ \frac{V_c}{1615 * PHF * (\frac{v}{c})} \right]} = \frac{19.17}{1 - \left[ \frac{3106}{1615 * 0.95 * 0.95} \right]} = -16.95 (s)$$

Iz rezultata je vidljivo da dobiveno trajanje ciklusa nije realno, što bi značilo da se za postojeće prometno opterećenje i geometriju raskrižja ne može dobiti zadovoljavajuće trajanje ciklusa. Ako bi se dodavali dodatni trakovi u privozima, rezultat bi bio bolji od sadašnjeg. Ipak, ta mjera se isplati samo kad je u pitanju najprometnijih 15 minuta vršnog sata. Daljnja analiza zbog navedenih razloga nema smisla. U slučaju da se dobio realan rezultat proračun bi se nastavio određivanjem potrebnog signalnog vremena za pješački promet.

### 3.6. Određivanje potrebnog vremena za pješake

Nakon izračunatih signalnih vremena za vozila, potrebno je isto napraviti i za pješake. Problem nastaje zbog toga što su potrebna vremena za vozila i za pješake često različita.

Za primjer možemo uzeti križanje jedne bitne gradske ceste i manje ulice. Prometno opterećenje veće je na gradskoj cesti, što rezultira dužim trajanjem zelenog svjetla u odnosu na manju ulicu. To je upravo suprotno od onoga što pješački promet zahtijeva. Tijekom kratkog zelenog svjetla pješaci prelaze širu gradsku cestu, dok tijekom dužeg zelenog svjetla prelaze manju ulicu. Dakle pješaci zahtijevaju duže trajanje zelenog svjetla tijekom kraćeg prometnog zelenog svjetla, te kraće zeleno svjetlo tijekom dužeg prometnog svjetla.

Predloženi su sljedeći izrazi za izračunavanje minimalnog potrebnog trajanja zelenog svjetla za pješake:

$$G_p = 3.2 + \left( 2.7 * \frac{N_{ped}}{W_E} \right) + \left( \frac{L}{S_p} \right); \text{ za } W_E > 10ft \quad (3.16.)$$

$$G_p = 3.2 + (0.27 * N_{ped}) + \left(\frac{L}{S_p}\right); \text{ za } W_E \leq 10ft \quad (3.17.)$$

$G_p$  – minimalno potrebno trajanje zelenog svjetla za pješake (sek)

$L$  – duljina pješačkog prijelaza (stopa)

$S_p$  – prosječna brzina prelaska pješaka (stopa/sek)

$N_{ped}$  – broj pješaka unutar jedne faze na jednom pješačkom prijelazu

$W_E$  – širina pješačkog prijelaza (stopa)

U jednadžbama 3.16 i 3.17 vrijeme od 3.2 sekunde predstavlja minimalni *start-up time* za pješake. Pješaci koji tek kreću prelaziti na kraju intervala od 3.2 sekunde zahtijevaju dodatno vrijeme  $L/S_p$  kako bi sigurno prošli. Drugi dio jednadžbe odnosi se na *start-up time* baziran na količini pješaka koji žele preći pješački prijelaz.

Pomoću prva dva člana jednadžbi možemo izračunati minimalno potrebno vrijeme prelaska preko pješačkog prijelaza (WALK indication):

$$WALK_{min} = 3.2 + \left(2.7 * \frac{N_{ped}}{W_E}\right); \text{ za } W_E > 10ft \quad (3.18.)$$

$$WALK_{min} = 3.2 + (0.27 * N_{ped}); \text{ za } W_E \leq 10ft \quad (3.19.)$$

Interval koji se mjeri od kraja sve crvenog svjetla za vozače jednak je vremenu  $L/S_p$  (DON'T WALK indication). WALK interval može biti dulji od minimalno potrebnog vremena za pješake, ako je zeleno svjetlo za vozila dulje od potrebnog.

Na promatranom raskrižju izračunata su vremena minimalnog prelaska pješaka i minimalno trajanje zelenog svjetla pomoću izraza 3.16 i 3.18 ( $W_E > 10ft$ ). Proračun je proveden za smjerove Q1 i Q3 te smjerove Q2 i Q4:

### **SMJER Q1 i Q3:**

$$L = 65ft, S_p = 4.3ft/s, N_{ped} = 15, W_E = 13ft$$

$$G_p = 3.2 + \left(2.7 * \frac{N_{ped}}{W_E}\right) + \left(\frac{L}{S_p}\right) = 3.2 + \left(2.7 * \frac{15}{13}\right) + \left(\frac{65}{4.3}\right) = 21.43 (s)$$

$$WALK_{min} = 3.2 + \left(2.7 * \frac{N_{ped}}{W_E}\right) = 3.2 + \left(2.7 * \frac{15}{13}\right) = 6.31 (s)$$

**SMJER Q2 i Q4:**

$$L = 80ft, S_p = 4.3ft/s, N_{ped} = 15, W_E = 13ft$$

$$G_p = 3.2 + \left(2.7 * \frac{N_{ped}}{W_E}\right) + \left(\frac{L}{S_p}\right) = 3.2 + \left(2.7 * \frac{15}{13}\right) + \left(\frac{80}{4.3}\right) = 24.91 (s)$$

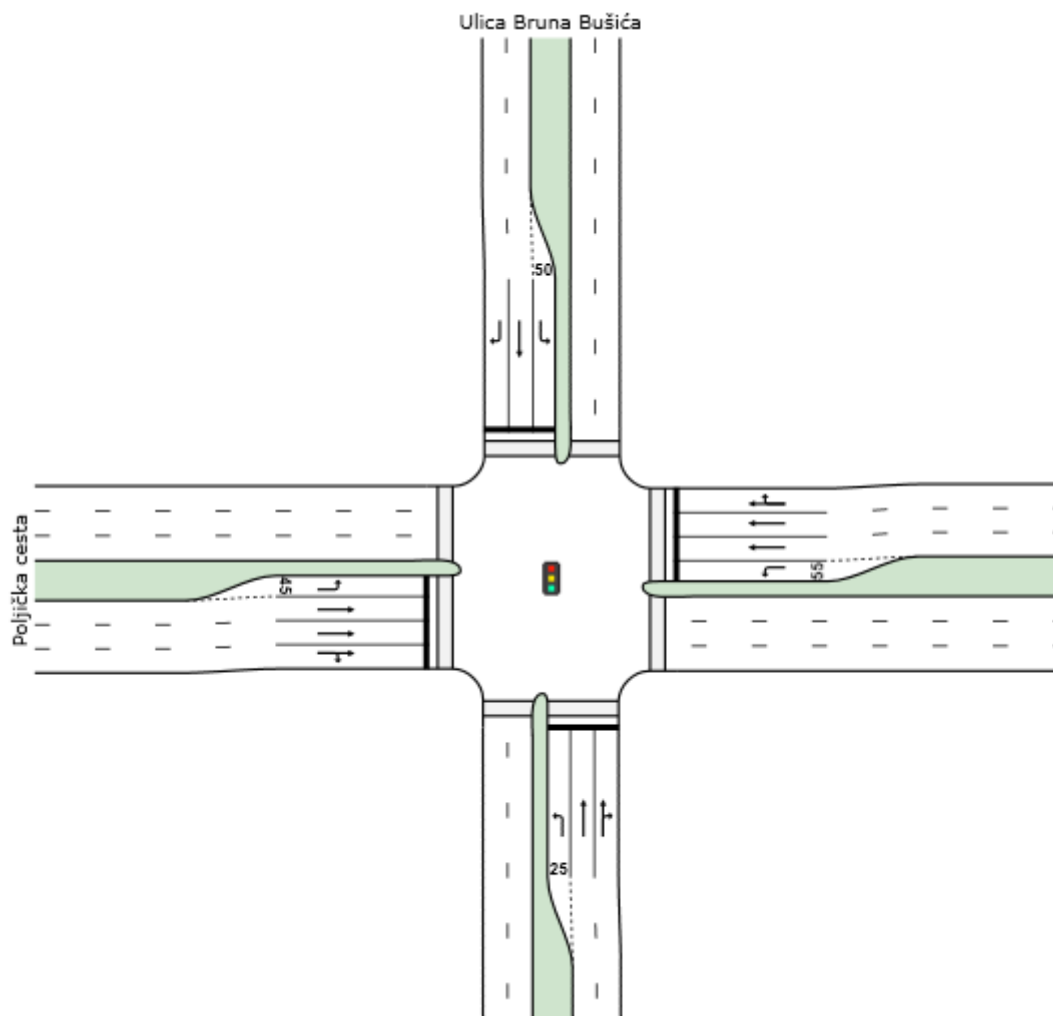
$$WALK_{min} = 3.2 + \left(2.7 * \frac{N_{ped}}{W_E}\right) = 3.2 + \left(2.7 * \frac{15}{13}\right) = 6.31 (s)$$

Potrebe pješaka moraju biti uspoređene sa signalnim vremenima za vozila. Upotrebljen je najpovoljniji način za pješake, koji dopušta pješacima da prolaze pješačkim prijelazom tokom zelenog, žutog i sve crvenog svjetla.

Ipak taj korak nije moguće izvršiti zbog toga što trajanje ciklusa izračunato u poglavlju 3.5. *Određivanje zadovoljavajućeg trajanja ciklusa* nije realno, te samim time nije bilo moguće izračunati trajanje zelenog svjetla za pojedinu fazu.

## 4. Software-ska analiza

Analiza je provedena u software-u SIDRA. Prvi korak predstavlja definiranje same geometrije raskrižja (broj trakova, širine trakova, duljine dodatnih trakova, moguće kretnje iz pojedinog traka i određivanje vrste pješačkih prijelaza) što je i prikazano na slici 4.1.:



Slika 4.1. Izgled analiziranog raskrižja u software-u SIDRA

U software su nakon toga izvršena analiza s osnovnim podacima (default-ne vrijednosti) , a zatim je provedena analiza s izmijenjenim parametrima.

Ovaj način rada odabran je zbog što bolje usporedbe rezultata i što lakšeg otkrivanja najkritičnijih parametara koji utječu na funkcioniranje raskrižja. Sveukupno postoji 6 varijanti s različitim parametrima koje su detaljno opisane i prikazane u idućim poglavljima.



#### 4.1. Prva varijanta: Default-ne vrijednosti

U prvoj varijanti unešeni su podaci o količini prometa u samom raskrižju, broju pješaka te trajanju svake pojedine faze unutar ciklusa.




Količina prometa je unešena na način da se odredio broj vozila u najopterećenijih 15 minuta unutar vršnog sata, te se taj broj pomnožio s 4 kako bi faktor vršnog sata (PHF) iznosio 100%. Također je izračunat postotak teških teretnih vozila i autobusa te unešen u proračun (slike 4.2.-4.5.).

Unit Time for Volumes

Peak Flow Period

Volume Data Method

Movement Volumes for Selected Approach (Per 60 Minutes)

From North to Exit:	E	S	W
			
	L2	T1	R2
Total (veh)	376	276	224
Light Vehicles (%) *	96,49 %	98,53 %	94,65 %
Heavy Vehicles (%)	1,39 %	1,47 %	1,78 %
Buses (%)	2,12 %	0 %	3,57 %
Input Check	OK	OK	OK




Slika 4.2. Smjer Q1

Unit Time for Volumes

Peak Flow Period

Volume Data Method

Movement Volumes for Selected Approach (Per 60 Minutes)

From East to Exit:	S	W	N
			
	L2	T1	R2
Total (veh)	240	1160	372
Light Vehicles (%) *	96,67 %	91,38 %	94,62 %
Heavy Vehicles (%)	3,33 %	6,21 %	5,38 %
Buses (%)	0 %	2,41 %	0 %
Input Check	OK	OK	OK




Slika 4.3. Smjer Q2

Unit Time for Volumes

Peak Flow Period

Volume Data Method

Movement Volumes for Selected Approach (Per 60 Minutes)

From South to Exit:	W	N	E
			
	L2	T1	R2
Total (veh)	368	352	80
Light Vehicles (%) *	96,77 %	100 %	100 %
Heavy Vehicles (%)	2,15 %	0 %	0 %
Buses (%)	1,08 %	0 %	0 %
Input Check	OK	OK	OK




Slika 4.4. Smjer Q3

Unit Time for Volumes

Peak Flow Period

Volume Data Method

Movement Volumes for Selected Approach (Per 60 Minutes)

From West to Exit:	N	E	S
			
	L2	T1	R2
Total (veh)	212	692	88
Light Vehicles (%) *	92,45 %	90,76 %	90,9 %
Heavy Vehicles (%)	7,55 %	7,51 %	9,1 %
Buses (%)	0 %	1,73 %	0 %
Input Check	OK	OK	OK

Slika 4.5. Smjer Q4

Brzina prelaska pješaka je uzeta kao standardna vrijednost od 1.1 m/s, a broj pješaka je unešen na identičan način kao i količina prometa što je i prikazano na slikama 4.6.-4.9.:

Unit Time for Volumes	60 minutes
Peak Flow Period	15 minutes

Volume Data

	Stage 1 (Approach)	Stage 2 (Exit)
Volume (Per 60 Minutes)	384 ped	384 ped
Peak Flow Factor	100,0 %	100,0 %
Flow Scale (Constant)	100,0 %	100,0 %
Growth Rate (per year)	2,0 %	2,0 %

Slika 4.6. Smjer Q1

Unit Time for Volumes	60 minutes
Peak Flow Period	15 minutes

Volume Data

	Stage 1 (Approach)	Stage 2 (Exit)
Volume (Per 60 Minutes)	360 ped	360 ped
Peak Flow Factor	100,0 %	100,0 %
Flow Scale (Constant)	100,0 %	100,0 %
Growth Rate (per year)	2,0 %	2,0 %

Slika 4.8. Smjer Q3

Unit Time for Volumes	60 minutes
Peak Flow Period	15 minutes

Volume Data

	Stage 1 (Approach)	Stage 2 (Exit)
Volume (Per 60 Minutes)	372 ped	372 ped
Peak Flow Factor	100,0 %	100,0 %
Flow Scale (Constant)	100,0 %	100,0 %
Growth Rate (per year)	2,0 %	2,0 %

Slika 4.7. Smjer Q2

Unit Time for Volumes	60 minutes
Peak Flow Period	15 minutes

Volume Data

	Stage 1 (Approach)	Stage 2 (Exit)
Volume (Per 60 Minutes)	272 ped	272 ped
Peak Flow Factor	100,0 %	100,0 %
Flow Scale (Constant)	100,0 %	100,0 %
Growth Rate (per year)	2,0 %	2,0 %

Slika 4.9. Smjer Q4

Najviše pješaka prolazi na pješačkom prijelazu koji se nalazi na privozu Q1 zbog toga što su s obe strane prijelaza prisutne autobusne stanice koje su jako frekventne.

Nakon što su određeni prioriteti prolaska kroz raskrižje i konflikti koji se mogu dogoditi, dobiven je konačni izgled svih faza (slika 4.10.).



Slika 4.10. Prikaz svih faza i legenda kretnji unutar raskrižja

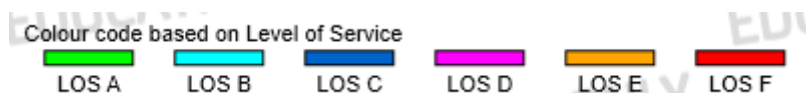
Trajanje ukupnog ciklusa te svake pojedine faze određeno je iz snimki. Ukupno vrijeme ciklusa je 90 sekundi, a podjela vremena unutar faza (zeleno, žuto i sve crveno svjetlo) je prikazana na slici 4.11.:

Phase:	1	2	3	4
Variable Phase	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Reference Phase	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Phase Time (optional)	35 sec	18 sec	24 sec	13 sec
Phase Frequency	Program ▾	Program ▾	Program ▾	Program ▾
Yellow Time	3 sec	3 sec	3 sec	0 sec
All-Red Time	2 sec	2 sec	2 sec	4 sec
Dummy Movement Data:				
Dummy Movement Exists	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Minimum Green Time				
Maximum Green Time				

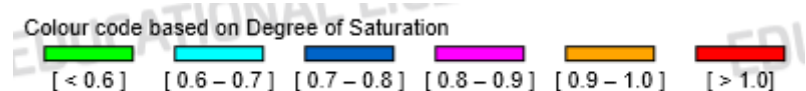
Slika 4.11. Prikaz trajanja svih faza

Zbog broja trakova i važnosti prometnih pravaca, smjerovi Q2 i Q4 imaju dulje trajanje zelenog svjetla (30 sek) te uz to imaju potpuno zaštićenu fazu za lijeve skretače.

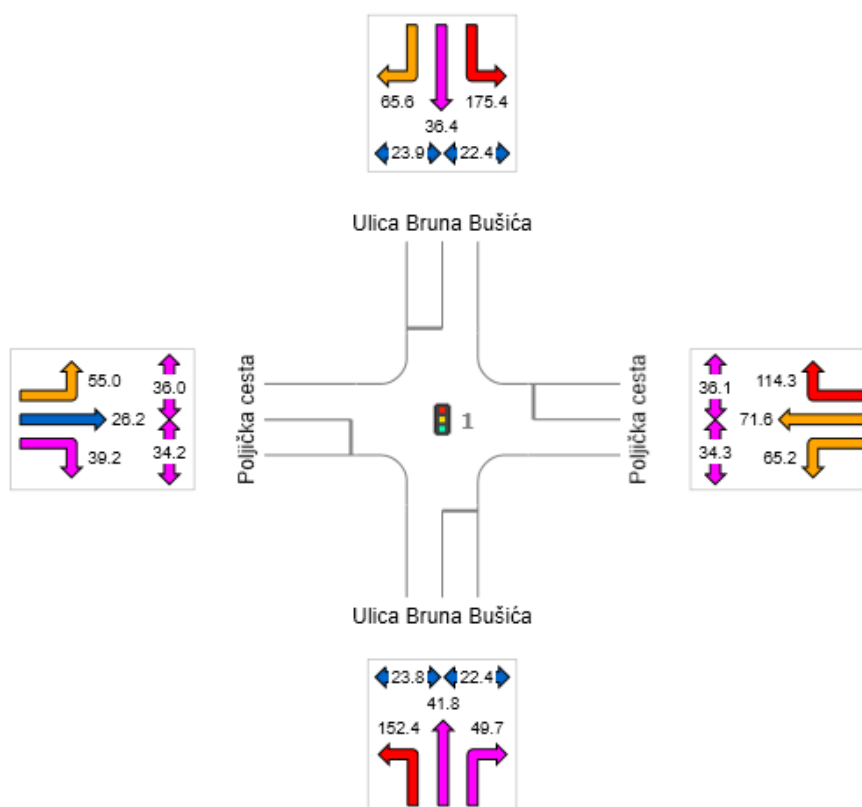
Nakon što smo unijeli sve gore navedene parametre, program je dao niz rezultata od kojih će biti prikazani samo oni najbitniji. To su vrijeme zakašnjenja (slika 4.14.), stupanj zasićenosti (slika 4.15.) i razinu usluge (slika 4.16.). Legende koje pokazuju ocjenu rezultata su prikazane na slikama 4.12. i 4.13.:



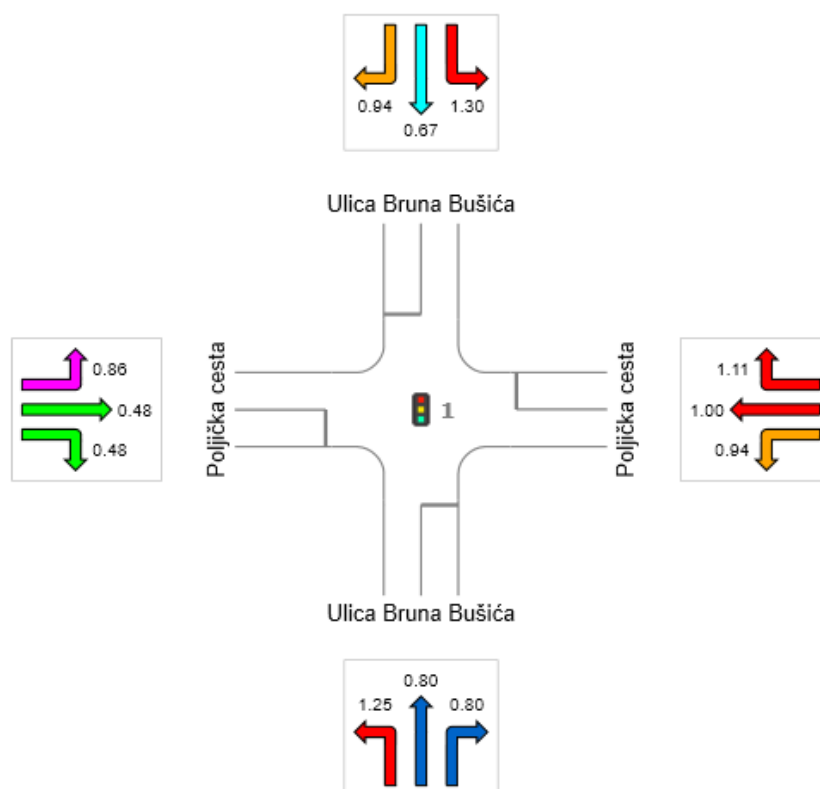
Slika 4.12. Ocjena rezultata za vrijeme zakašnjenja i razinu usluge



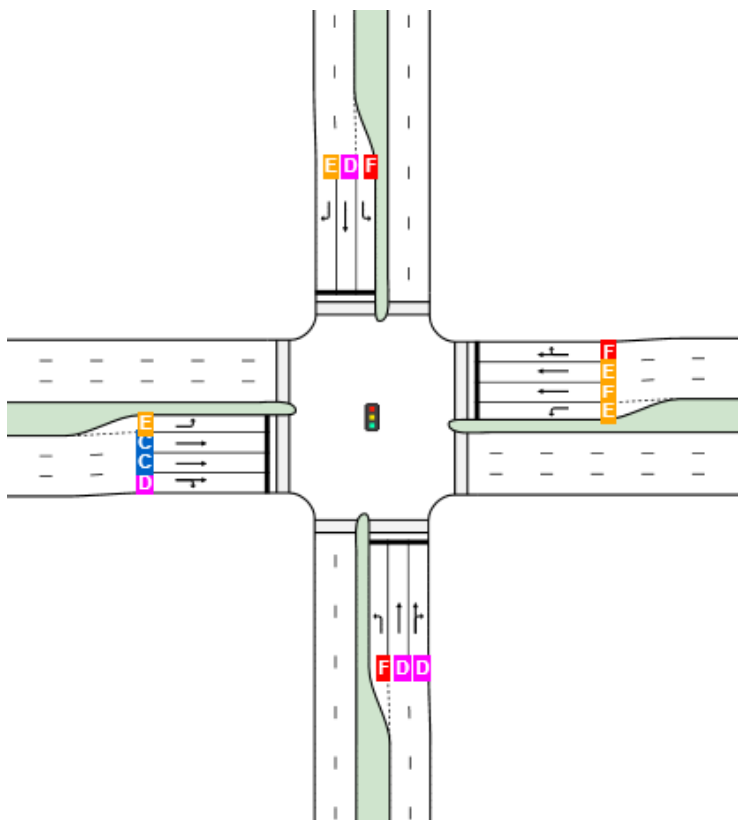
Slika 4.13. Ocjena rezultata za stupanj zasićenosti



Slika 4.14. Vrijeme zakašnjenja za svaki trak



Slika 4.15. Stupanj zasićenosti za svaki trak



Slika 4.16. Razina usluge za svaki trak

Tablica 4.1. Usporedba mjerelog i programskog vremena zakašnjenja za prvu varijantu

1. VARIJANTA	SMJER Q1		SMJER Q2		SMJER Q3		SMJER Q4	
	Mjereno	SIDRA	Mjereno	SIDRA	Mjereno	SIDRA	Mjereno	SIDRA
DELAY ZA LIJEVO	45.49	175.40	44.04	65.20	29.94	152.40	41.56	55.00
DELAY ZA NAPRIJED	24.09	36.40	42.10	71.60	29.17	41.80	29.28	26.20
DELAY ZA DESNO	30.21	65.60	50.16	114.30	29.60	49.70	30.57	39.20

Može se primjetiti da rezultati nisu realni jer je vrijednost  $(v/c) > 1$ , što u konkretnom slučaju nije očekivano zbog toga što su izbrojana samo ona vozila koja su prošla kroz raskrižje, a ne ona koja su ostala u raskrižju.

U idućim varijantama nastojat će se poboljšati rezultati na način da se bolje opisuje postojeće stanje.

## 4.2. Druga varijanta: Promjena Basic Saturation Flow-a

Default-na vrijednost bazičnog zasićenog toka po traku (Basic Saturation Flow) iznosi 1950 vozila koja prođu naprijed kroz raskrižje unutar jednog sata. Ta vrijednost je promijenjena pomoću najmanjeg izmjerenog zasićenog vremena slijeda (Saturation Headway) od svih trakova u kojima vozila idu naprijed, jer je taj manevar kretanja mjerodavan (kretanje pravo osobnih vozila).

Iz tablice 2.7. (poglavlje 2.4. *Stopped-time delay*) vidljivo je da je najmanji izmjereni headway u privozu Q2 te iznosi 1.82 sekunde.

Potrebno je promatrati interval vremena od jednog sata (3600 sekundi) te se prema tome može izračunati:

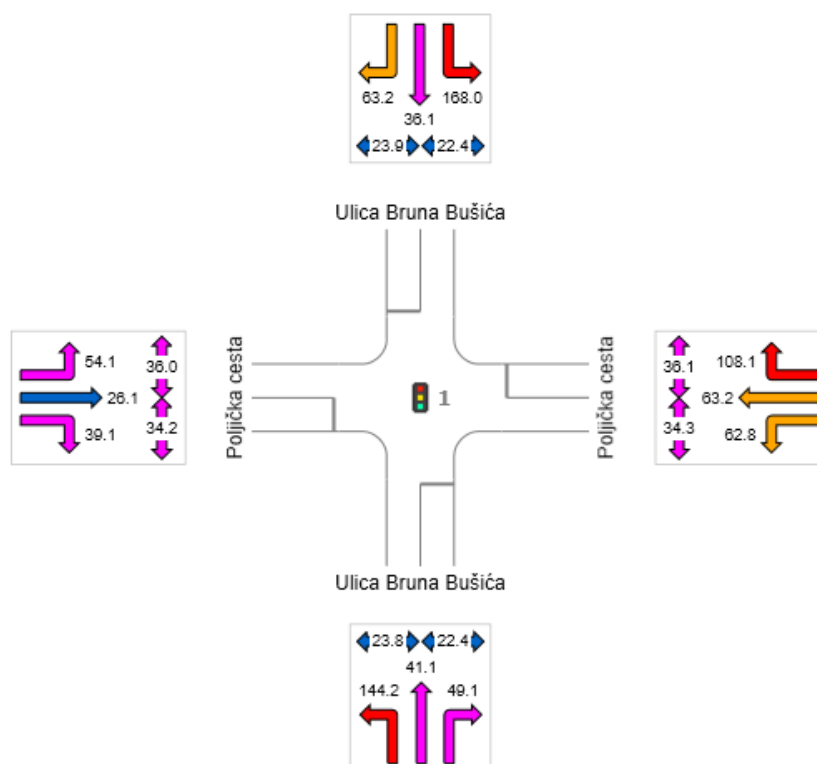
$$s = \frac{3600}{1.82} = 1978 \text{ voz/h}$$

Vrijednost od 1950 voz/h je zamijenjena dobivenom vrijednosti koja je unesena za svaki pojedini trak u svakom privozu (slika 4.17.).

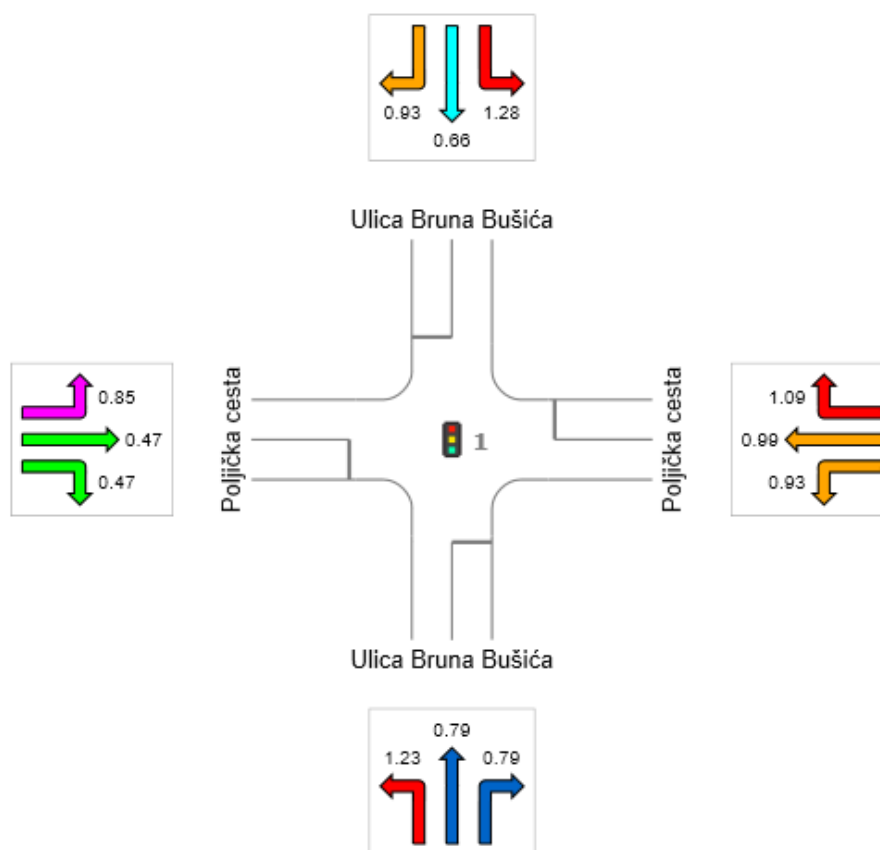
Basic Saturation Flow	1978 tcu/h
Lane Utilisation Ratio	Program
Saturation Speed	Program
Capacity Adjustment	0,0 %
<input type="checkbox"/> Use Given Capacity Adjustment Value for Network Analysis	

Slika 4.17. Unošenje nove vrijednosti kapaciteta toka

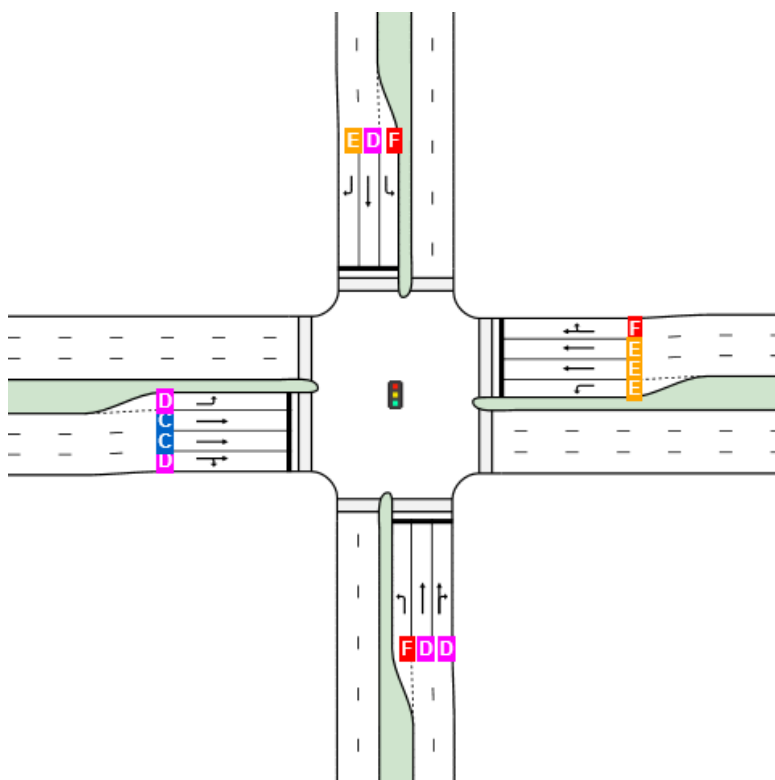
Nakon unošenja proveden je programski proračun te su dobiveni sljedeći rezultati:



Slika 4.18. Vrijeme zakašnjenja za drugu varijantu



Slika 4.19. Stupanj zasićenosti za drugu varijantu



Slika 4.20. Razina usluge za drugu varijantu

Tablica 4.2. Usporedba mjerenog i programskog vremena zakašnjenja za drugu varijantu




2. VARIJANTA	SMJER Q1		SMJER Q2		SMJER Q3		SMJER Q4	
	Mjereno	SIDRA	Mjereno	SIDRA	Mjereno	SIDRA	Mjereno	SIDRA
DELAY ZA LIJEVO	45.49	168.00	44.04	62.80	29.94	144.20	41.56	54.10
DELAY ZA NAPRIJED	24.09	36.10	42.10	63.20	29.17	41.10	29.28	26.10
DELAY ZA DESNO	30.21	63.20	50.16	108.10	29.60	49.10	30.57	39.10

Ako se usporede rezultati prve i druge varijante, uočava se neznatan pad vrijednosti vremena zakašnjenja odnosno stupnja zasićenosti. Razina usluge također bilježi neznatne promjene i to samo za lijeve skretače iz smijera Q4 gdje je razina usluge poboljšanja za jedan stupan (s razine E na razinu D). Razlog tome je što nova vrijednost zasićenog toka nije puno veća od početne.

### 4.3. Treća varijanta: Start Loss

Default-na vrijednost početnog izgubljenog vremena (Start-Up Lost Time) iznosi 3 sekunde. Start Loss predstavlja prosječnu izmerenu vrijednost Start-Up Lost Time koja prema izmjerenim vrijednostima iznosi prosječno 2 sekunde.

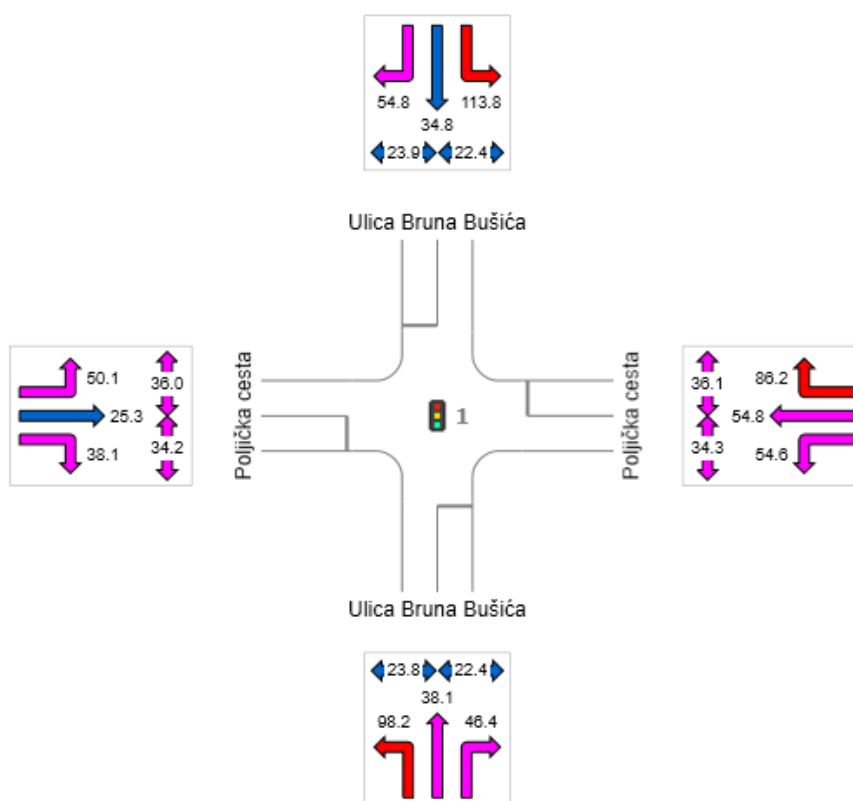
Vrijednost od 3 sekunde je zamijenjena dobivenom prosječnom vrijednosti koja je unesena za svaki pojedini trak u svakom privozu (slika 4.21.).

From South to Exit:	W	N	E
	 L2	 T1	 R2
Signal Coordination	Program ▾	Program ▾	Program ▾
Arrival Type			
Arrivals During Green			
Stopline Travel Time	Program ▾	Program ▾	Program ▾
Turn On Red			<input type="checkbox"/>
Vehicle Movement Timing Data			
Start Loss	2 sec	2 sec	2 sec
End Gain	3 sec	3 sec	3 sec
Minimum Green	Program ▾	Program ▾	Program ▾
Maximum Green	Program ▾	Program ▾	Program ▾
Phase Actuation	None ▾	None ▾	None ▾

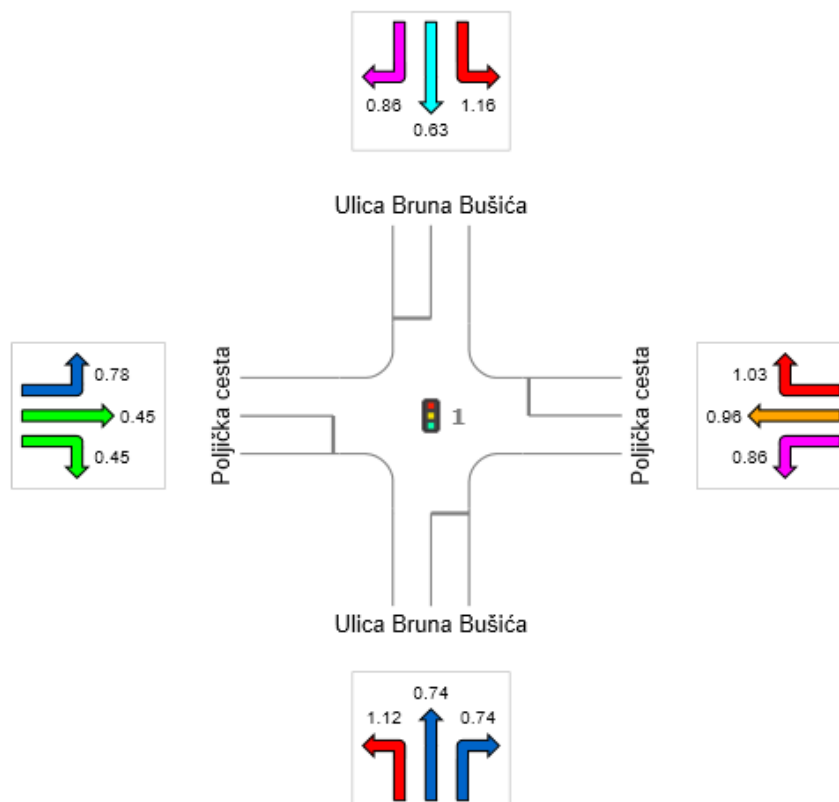
Slika 4.21. Unošenje nove vrijednosti Start Loss-a



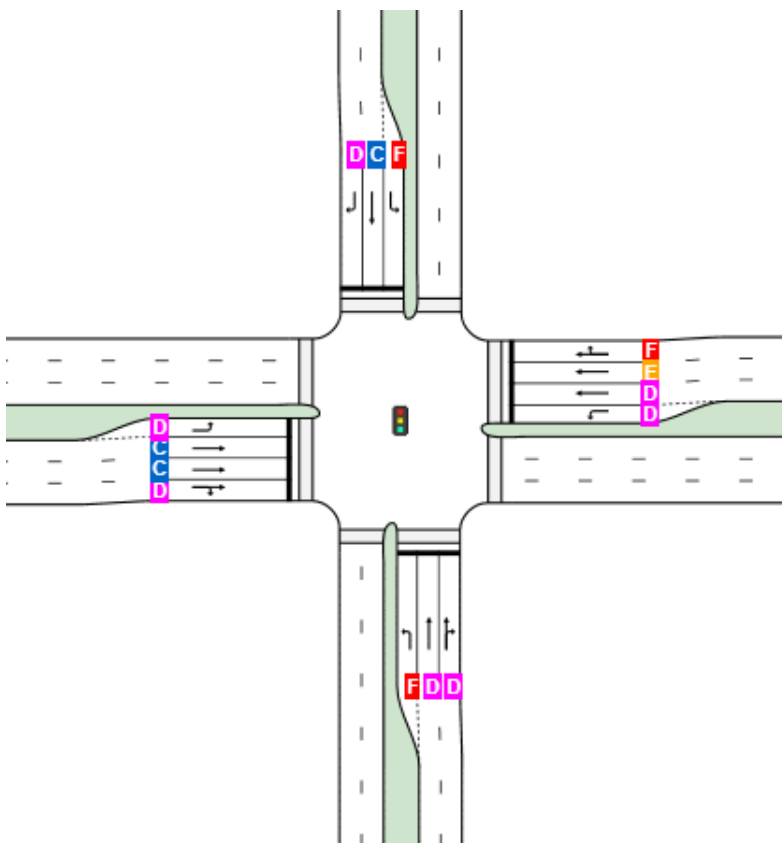
Nakon unošenja proveden je programski proračun te su dobiveni sljedeći rezultati:



Slika 4.22. Vrijeme zakašnjenja za treću varijantu



Slika 4.23. Stupanj zasićenosti za treću varijantu



*Slika 4.24.* Razina usluge za treću varijantu

*Tablica 4.3.* Usporedba mjenenog i programskog vremena zakašnjenja za treću varijantu

3. VARIJANTA	SMJER Q1		SMJER Q2		SMJER Q3		SMJER Q4	
	Mjereno	SIDRA	Mjereno	SIDRA	Mjereno	SIDRA	Mjereno	SIDRA
DELAY ZA LIJEVO	45.49	113.80	44.04	54.60	29.94	98.20	41.56	50.10
DELAY ZA NAPRIJED	24.09	34.80	42.10	54.80	29.17	38.10	29.28	25.30
DELAY ZA DESNO	30.21	54.80	50.16	86.20	29.60	46.40	30.57	38.10

Usporedbom dobivenih rezultata s rezultatima iz predhodne dvije varijante možemo uočiti promjene, tj. pad vrijednosti vremena zakašnjenja odnosno stupnja zasićenosti. Ove promjene najizraženije su kod lijevih skretača. Razina usluge ostala je ne promjenjena za smjer Q3, dok svi ostali smjerovi bilježe poboljšanje razine usluge.

#### 4.4. Četvrta varijanta: Zaustavljanje autobusa

Prema default-u program SIDRA ne uzima u obzir zaustavljanje autobusa (Busses stopping) te u svim smjerovima ta vrijednost iznosi 0 voz/h.

U ovoj varijanti unosimi izmjerene vrijednosti zaustavljanja autobusa za svaki smjer posebno kako je prikazano na slikama 4.25.– 4.28..

Buses Stopping

20 veh/h

Parking Manoeuvres

Buses Stopping

15 veh/h

Parking Manoeuvres

Slika 4.25. Smjer Q1

Buses Stopping

0 veh/h

Parking Manoeuvres

Slika 4.26. Smjer Q2

Buses Stopping

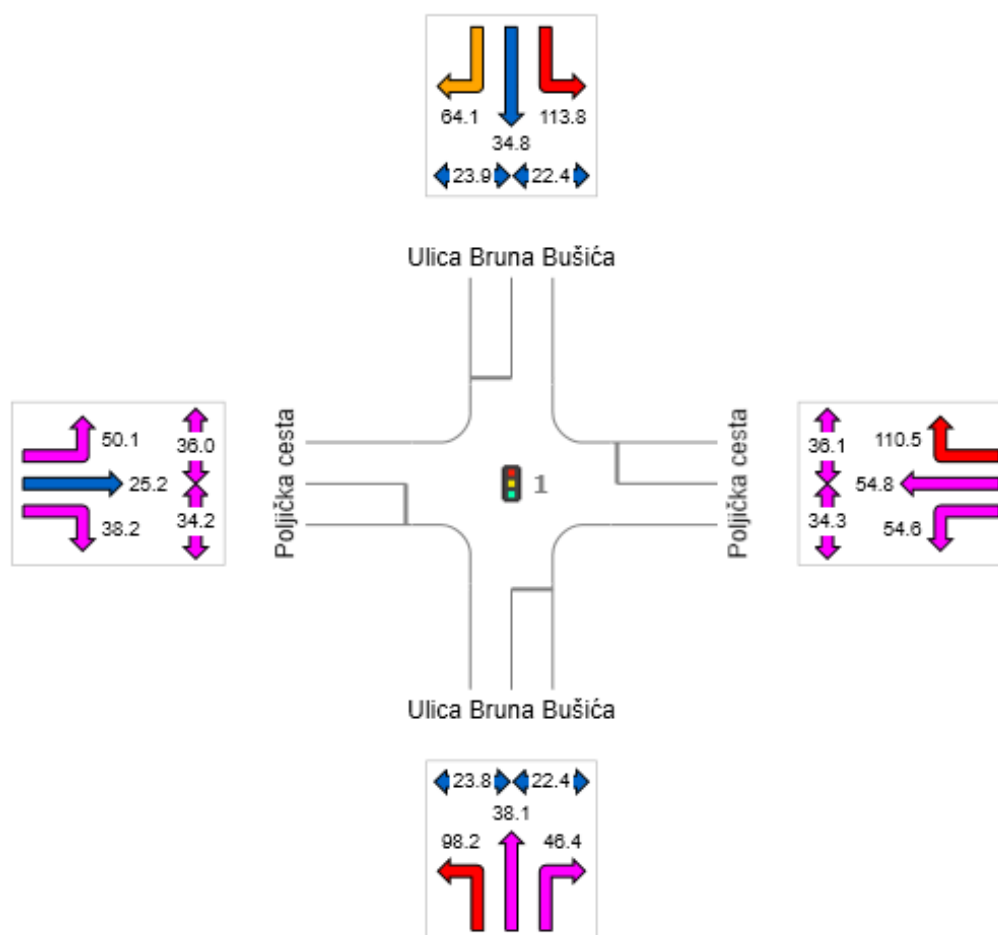
12 veh/h

Parking Manoeuvres

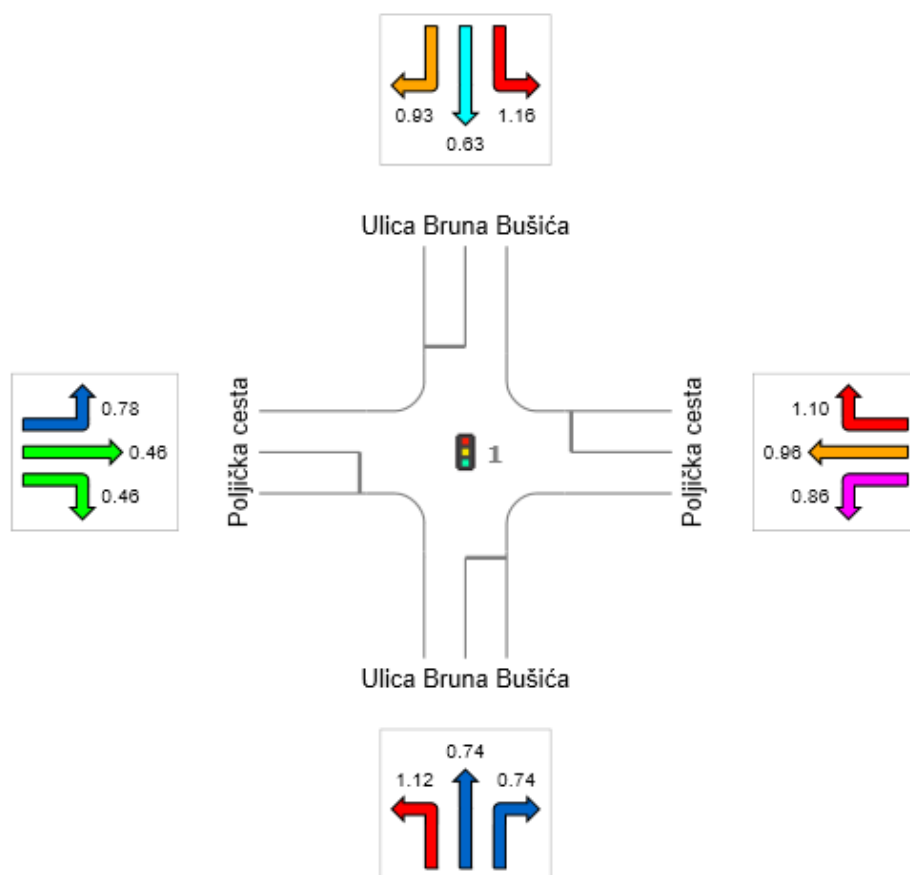
Slika 4.27. Smjer Q3

Slika 4.28. Smjer Q4

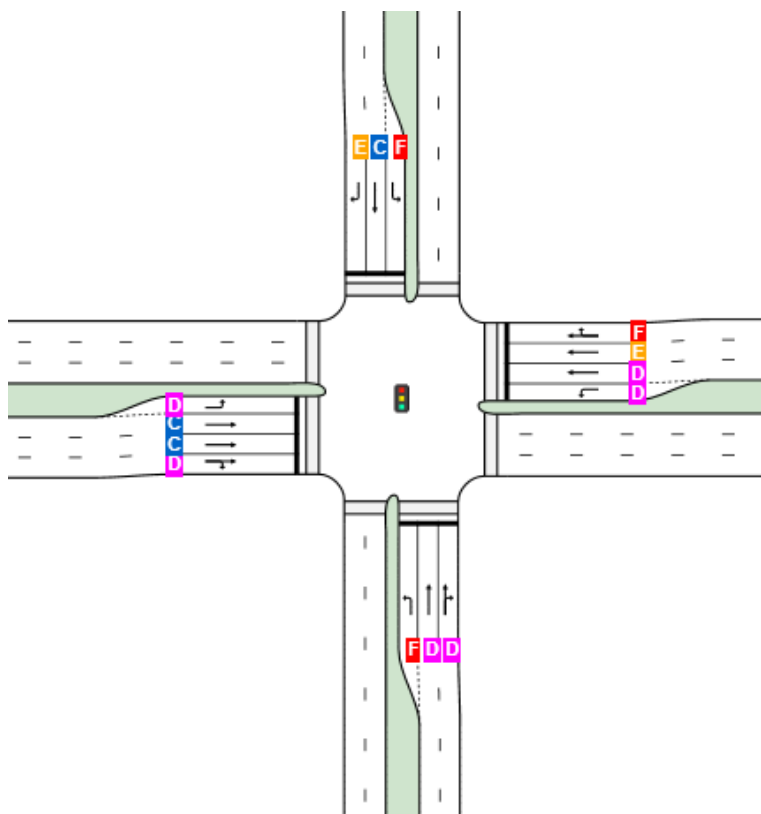
Nakon unošenja proveden je programski proračun te su dobiveni sljedeći rezultati:



Slika 4.29. Vrijeme zakašnjenja za četvrtu varijantu



Slika 4.30. Stupanj zasićenosti za četvrtu varijantu



Slika 4.31. Razina usluge za četvrtu varijantu

**Tablica 4.4.** Usporedba mjerenog i programskog vremena zakašnjenja za četvrtu varijantu




4. VARIJANTA	SMJER Q1		SMJER Q2		SMJER Q3		SMJER Q4	
	Mjereno	SIDRA	Mjereno	SIDRA	Mjereno	SIDRA	Mjereno	SIDRA
DELAY ZA LIJEVO	45.49	113.80	44.04	54.60	29.94	98.20	41.56	50.10
DELAY ZA NAPRIJED	24.09	34.80	42.10	54.80	29.17	38.10	29.28	25.20
DELAY ZA DESNO	30.21	64.10	50.16	110.50	29.60	46.40	30.57	38.20

Usporedbom dobivenih rezultata s rezultatima iz predhodne varijante možemo uočiti neznatne promjene. U ovom slučaju radi se o povećanju vrijednosti vremena zakašnjenja odnosno stupnja zasićenosti. Ove promjene dogodile su se na rubnim (desnim) trakovima kod koji zaustavljanje autobusa jedino i ima utjecaj. Razina usluge ostala je ne promjenjena za sve smjerove osim smjera Q1 gdje je razina usluge u rubnom (desnom) traku pogoršana za jednu razinu (s razine D na razinu E).




#### 4.5. Peta varijanta: Postotak dolazka vozila na zeleno svjetlo

Prema default-u program SIDRA ne uzima u obzir postotak dolaska vozila na zeleno svjetlo (Arrival type). Arrival type predstavlja postotak vozila koji su stigli na raskrižje za vrijeme zelenog svjetla. Tu su uračunata sva ona vozila koja se nisu nalazila u kolonama te nisu čekala paljenje zelenog svjetla. Sva ta vozila su prošla kroz raskrižje približno istom brzinom kojom su i došla u pojedini privoz.




U ovoj varijanti unosimo izmjerene vrijednosti postotka prolaska vozila na zeleno svjetlo za svaki smjer posebno kako je prikazano na slikama 4.32.– 4.35..

From North to Exit:	E	S	W
			
	L2	T1	R2
Signal Coordination	%Green ▾	%Green ▾	%Green ▾
Arrival Type			
Arrivals During Green	53.0 %	27.0 %	27.0 %
Stopline Travel Time	Program ▾	Program ▾	Program ▾
Turn On Red			<input type="checkbox"/>
Vehicle Movement Timing Data			
Start Loss	2 sec	2 sec	2 sec
End Gain	3 sec	3 sec	3 sec
Minimum Green	Program ▾	Program ▾	Program ▾
Maximum Green	Program ▾	Program ▾	Program ▾
Phase Actuation	None ▾	None ▾	None ▾




**Slika 4.32.** Smjer Q1

From East to Exit:	S	W	N
			
	L2	T1	R2
Signal Coordination	%Green ▾	%Green ▾	%Green ▾
Arrival Type			
Arrivals During Green	22.0 %	61.0 %	52.0 %
Stopline Travel Time	Program ▾	Program ▾	Program ▾
Turn On Red			<input type="checkbox"/>
Vehicle Movement Timing Data			
Start Loss	2 sec	2 sec	2 sec
End Gain	3 sec	3 sec	3 sec
Minimum Green	Program ▾	Program ▾	Program ▾
Maximum Green	Program ▾	Program ▾	Program ▾
Phase Actuation	None ▾	None ▾	None ▾

**Slika 4.33.** Smjer Q2

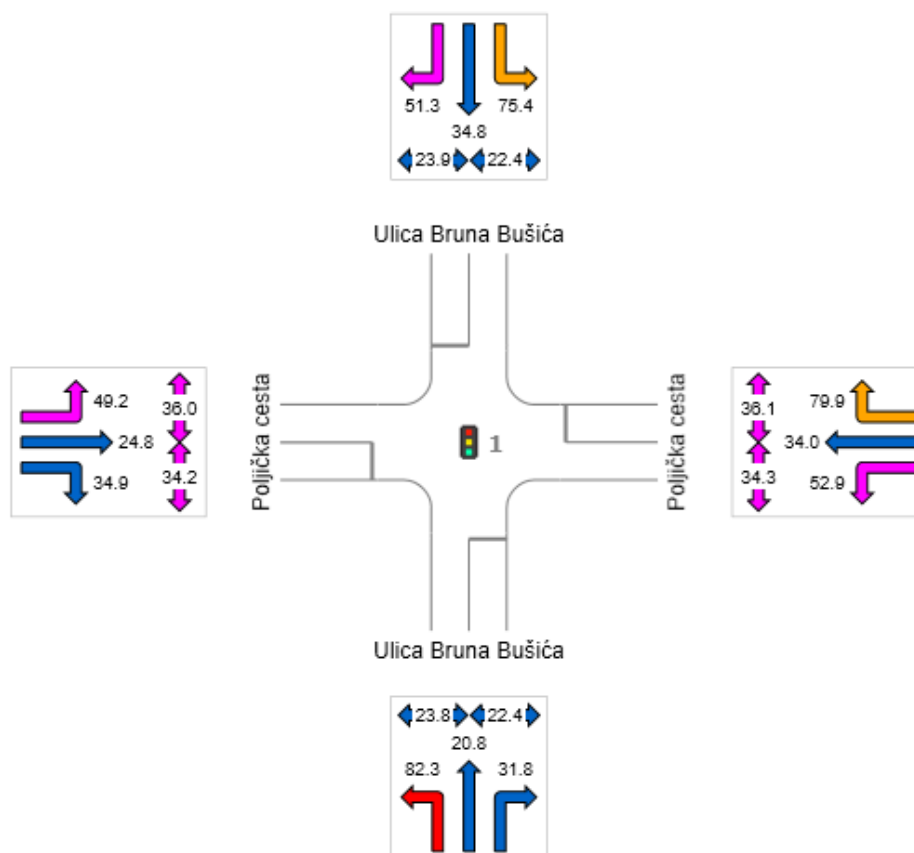
From South to Exit:	W	N	E
			
	L2	T1	R2
Signal Coordination	%Green ▾	%Green ▾	%Green ▾
Arrival Type			
Arrivals During Green	36.0 %	58.0 %	25.0 %
Stopline Travel Time	Program ▾	Program ▾	Program ▾
Turn On Red			<input type="checkbox"/>
Vehicle Movement Timing Data			
Start Loss	2 sec	2 sec	2 sec
End Gain	3 sec	3 sec	3 sec
Minimum Green	Program ▾	Program ▾	Program ▾
Maximum Green	Program ▾	Program ▾	Program ▾
Phase Actuation	None ▾	None ▾	None ▾

Slika 4.34. Smjer Q3

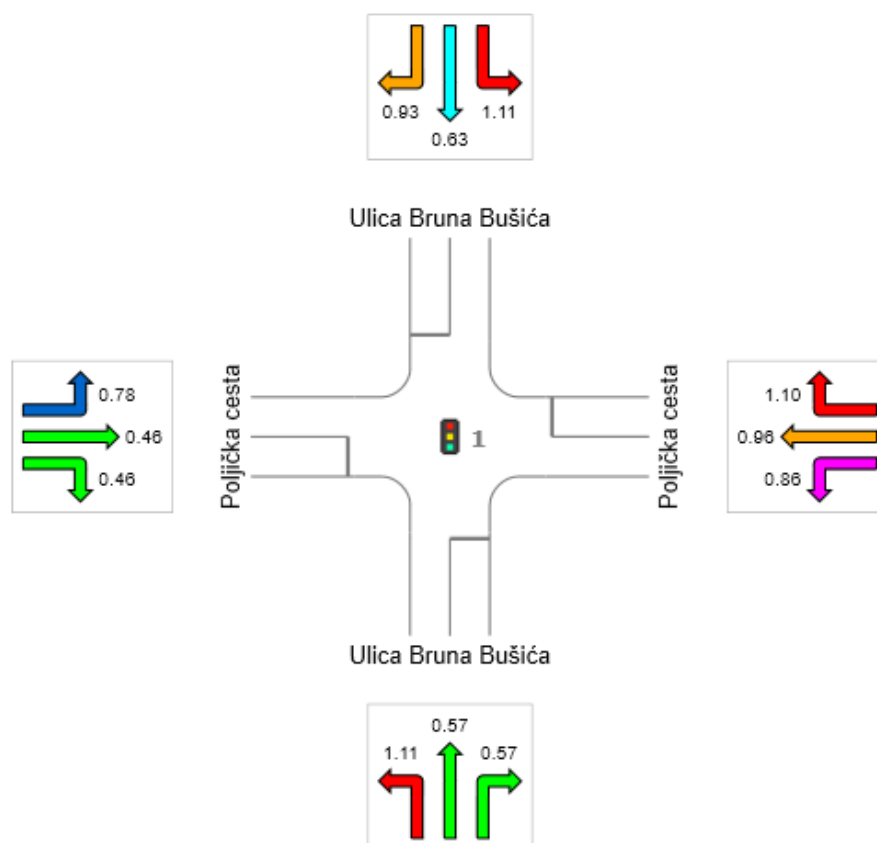
From West to Exit:	N	E	S
			
	L2	T1	R2
Signal Coordination	%Green ▾	%Green ▾	%Green ▾
Arrival Type			
Arrivals During Green	23.0 %	39.0 %	33.0 %
Stopline Travel Time	Program ▾	Program ▾	Program ▾
Turn On Red			<input type="checkbox"/>
Vehicle Movement Timing Data			
Start Loss	2 sec	2 sec	2 sec
End Gain	3 sec	3 sec	3 sec
Minimum Green	Program ▾	Program ▾	Program ▾
Maximum Green	Program ▾	Program ▾	Program ▾
Phase Actuation	None ▾	None ▾	None ▾

Slika 4.35. Smjer Q4

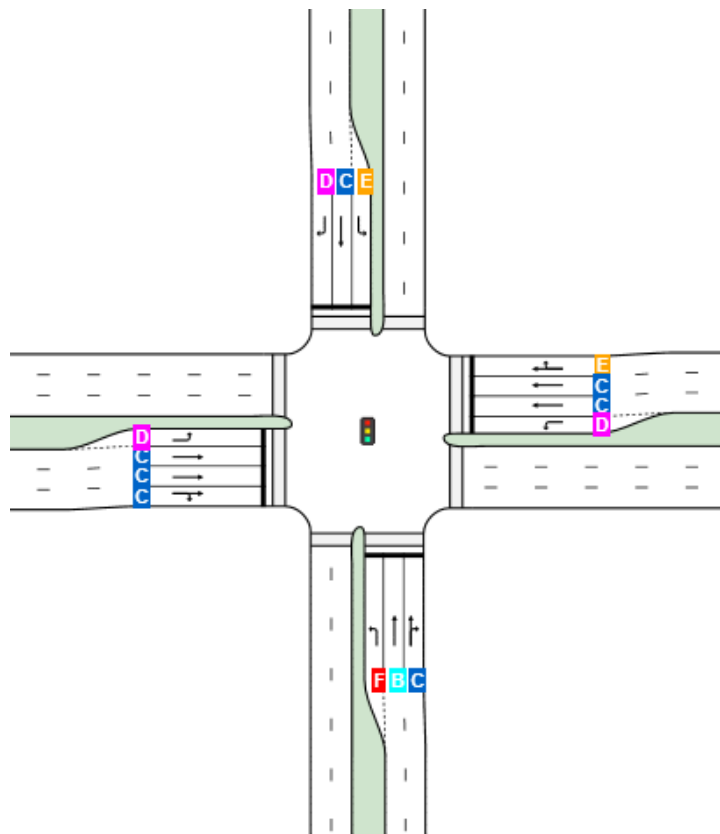
Nakon unošenja proveden je programski proračun te su dobiveni sljedeći rezultati:



Slika 4.36. Vrijeme zakašnjenja za petu varijantu



Slika 4.37. Stupanj zasićenosti za petu varijantu



Slika 4.38. Razina usluge za petu varijantu

**Tablica 4.5.** Usporedba mjerenog i programskog vremena zakašnjenja za petu varijantu

5. VARIJANTA	SMJER Q1		SMJER Q2		SMJER Q3		SMJER Q4	
	Mjereno	SIDRA	Mjereno	SIDRA	Mjereno	SIDRA	Mjereno	SIDRA
DELAY ZA LIJEVO	45.49	75.40	44.04	52.90	29.94	82.30	41.56	49.20
DELAY ZA NAPRIJED	24.09	34.80	42.10	34.00	29.17	20.80	29.28	24.80
DELAY ZA DESNO	30.21	51.30	50.16	79.90	29.60	31.80	30.57	34.90

Usporedbom dobivenih rezultata s rezultatima iz predhodne varijante uočljive su značajne promjene. U ovom slučaju radi se o padu vrijednosti vremena zakašnjenja i stupnja zasićenosti. Ove promjene dogodile su se na svim trakovima dok su najizraženije kod ljevih skretača. Razina usluge također bilježi poboljšanja za sve smjerove.

#### 4.6. Šesta varijanta: Pješaci

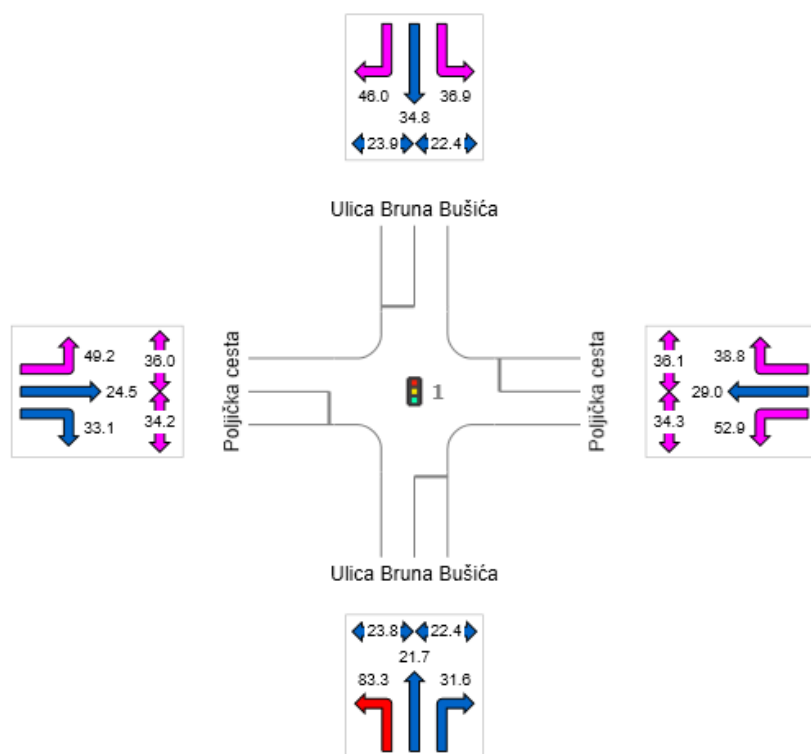
U posljednjoj varijanti proračuna u program je unesen faktor koji je vezan uz prelazak konfliktnih pješaka. Njegova početna vrijednost je bila 1. To bi značilo da će svi vozači koji skreću morati čekati svakog pješaka gdje god se on nalazio na pješačkom prijelazu. U realnosti to nije slučaj, te je određen faktor vrijednosti 0.5, što bi značilo da vozači ne moraju čekati pola pješaka koji prolaze, već ih mogu mimoići zbog velike širine ceste.

	Stage 1 (Approach)	Stage 2 (Exit)
Movement ID	P41	P42
Crossing Distance	Program ▼	Program ▼
Opposing Pedestrian Factor	0.5	0.5
Practical Degree of Saturation	Program ▼	Program ▼
Saturation Flow Rate	12000 ped/h	12000 ped/h
Walking Speed (Average)	1.3 m/sec	1.3 m/sec
Approach Travel Distance	10.0 m	10.0 m
Downstream Distance	10.0 m	10.0 m
Queue Space	1.0 m	1.0 m

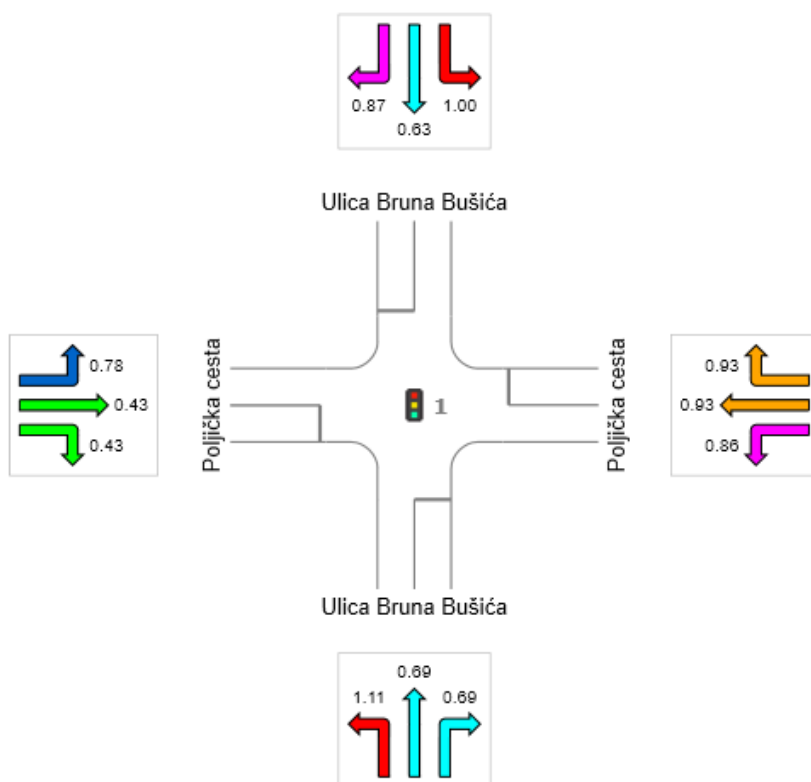
**Slika 4.39.** Unošenje faktora za konfliktne pješake



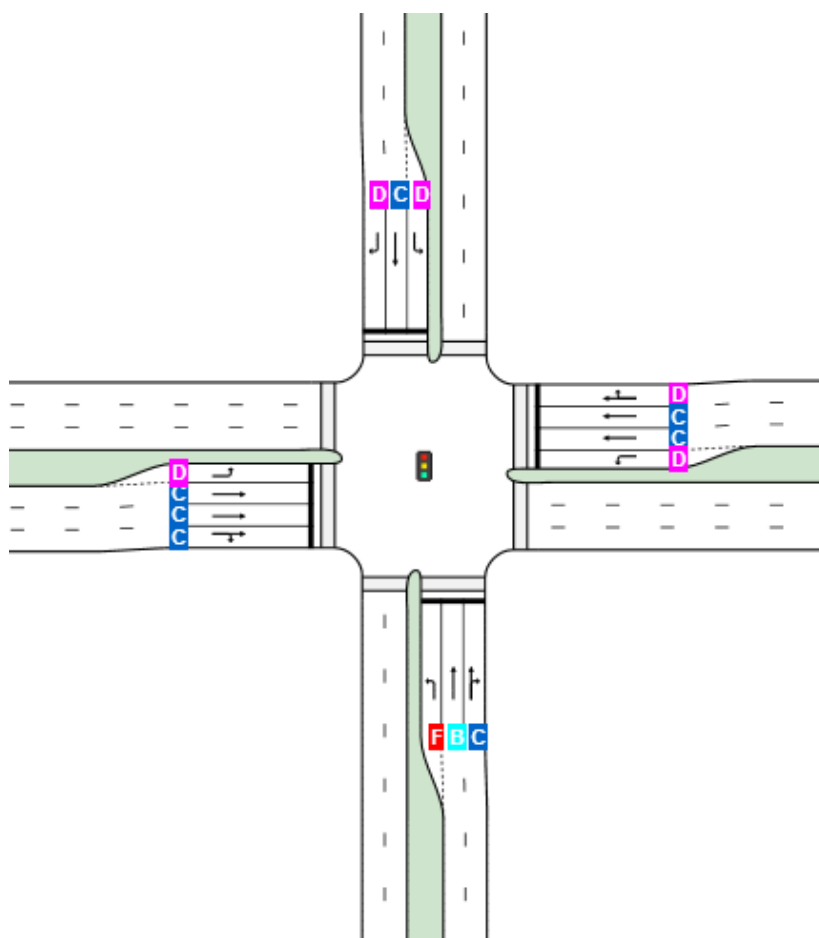
Nakon unošenja proveden je programski proračun te su dobiveni sljedeći rezultati:



Slika 4.40. Vrijeme zakašnjenja za šestu varijantu



Slika 4.41. Stupanj zasićenosti za šestu varijantu



Slika 4.42. Razina usluge za šestu varijantu

Tablica 4.6. Usporedba mjerenog i programskog vremena zakašnjenja za šestu varijantu

6. VARIJANTA	SMJER Q1		SMJER Q2		SMJER Q3		SMJER Q4	
	Mjereno	SIDRA	Mjereno	SIDRA	Mjereno	SIDRA	Mjereno	SIDRA
DELAY ZA LIJEVO	45.49	36.90	44.04	52.90	29.94	83.30	41.56	49.20
DELAY ZA NAPRIJED	24.09	34.80	42.10	29.00	29.17	21.70	29.28	24.50
DELAY ZA DESNO	30.21	46.00	50.16	38.80	29.60	31.60	30.57	33.10

Usporedbom dobivenih rezultata s rezultatima iz predhodne varijante možemo uočiti pozitivne promjene. U ovom slučaju radi se o padu vrijednosti vremena zakašnjenja što je najizraženije na smjeru Q1 i Q2 i to za lijeve skretače i vozila koja se kreću pravo, dok su ostali smjerovi (Q3 i Q4) ostali gotovo ne promjenjeni. Stupanj zasićenosti također bilježi pad u svim smjerovima osim smjera Q3 gdje se bilježi rast i to za kretanje vozila pravo i desno. Razina usluge bilježi blaga poboljšanja i to za smjer Q1 za lijeve skretače te smjer Q2 za desne skretače, dok je na ostalim privozima u svim smjerovima razina usluge ostala ne promjenjena.

Teži se da vrijednosti vremena zakašnjenja (delay) budu što bliža izmjerenim, a da stupanj zasićenosti bude manji od 1 za svaki prometni trak. Stupanj zasićenosti veći od 1 pokazuje da postojeći kapacitet premašuje kapacitet prometnog traka.

Nakon što su analizirane sve varijante proračuna, prikazani i komentirani svi rezultati, ostaje još samo mogućnost eventualne promjene nekih od prijašnjih parametara u svrhu poboljšanja stanja u raskrižju. Parametar koji ćemo promijeniti je basic saturation flow. Opis, rezultati i komentar promjene dati su u idućem poglavlju.

#### 4.7. Promjena Basic Saturation Flow-a

Navedena vrijednost je detaljnije opisana u poglavlju 4.2. *Druga varijanta: Basic Saturation Flow*, gdje je proračunom dobivena njegova nova vrijednost s obzirom na mjereno zasićeno vrijeme slijeda.

Vrijednost od 1978 voz/h nije bila puno veća od početne vrijednosti od 1950 voz/h, te je zbog toga odlučeno da će se postaviti vrijednost od 2250 voz/h. Ta vrijednost je uzeta kako bi se dobili parametri što sličniji mjerenim vrijednostima (vrijeme zakašnjenja, stupanj zasićenosti i razina usluge).

To bi teoretski značilo da bi zasićeno vrijeme slijeda trebalo biti manje za 0.22 sekundi i iznositi 1.6 sekunde, jer smo za prosječnu izmjerenu vrijednost od 1.82 sekunde dobili vrijednost basic saturation flow-a od 1978 voz/h.

Basic Saturation Flow	2250 tcu/h
Lane Utilisation Ratio	Program
Saturation Speed	Program
Capacity Adjustment	0.0 %

Slika 4.43. Unos promijenjene vrijednosti kapaciteta toka u software

Prikaz krajnjih dobivenih rezultata vremena zakašnjenja, stupnja zasićenosti i razine usluge za raskrižje u cijelosti se nalazi da slikama 4.42.-4.44., dok su pojedinačni rezultati za svaki trak prikazani na slikama 4.45.-4.47.:

	South	East	North	West	Intersection
Delay (Control)	39.9	25.4	37.5	29.5	31.3
LOS	D	C	D	C	C

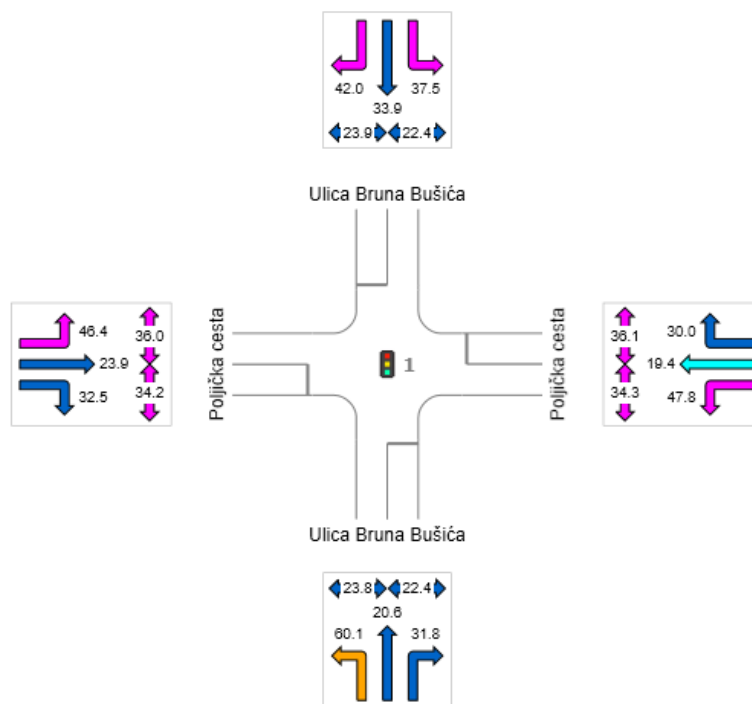
Slika 4.44. Prosječne vrijednosti vremena zakašnjenja za svaki privoz i cijelo raskrižje

	South	East	North	West	Intersection
Degree of Saturation	1.00	0.83	0.96	0.69	1.00

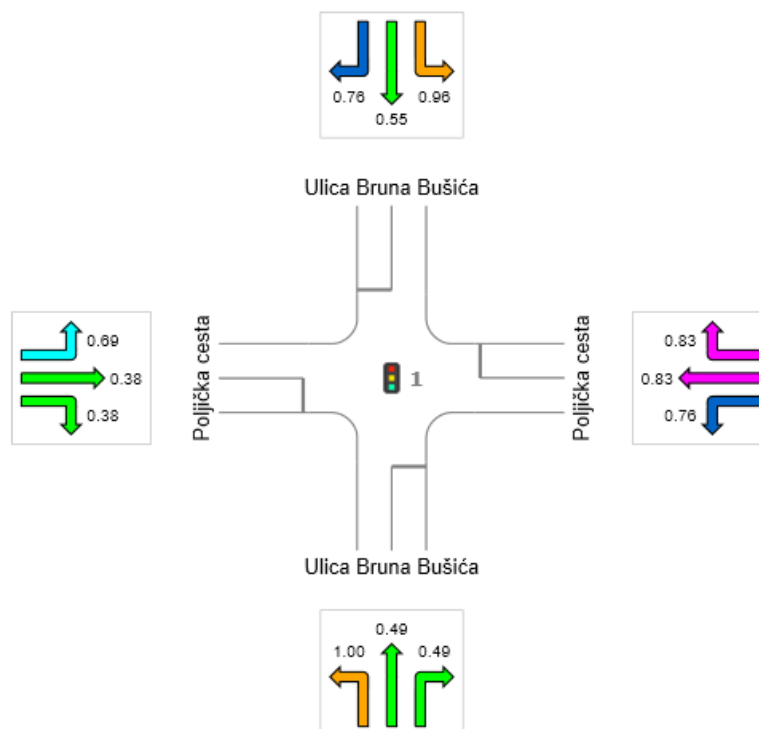
Slika 4.45. Prosječne vrijednosti stupnja zasićenosti za svaki privoz i cijelo raskrižje

	South	East	North	West	Intersection
LOS	D	C	D	C	C

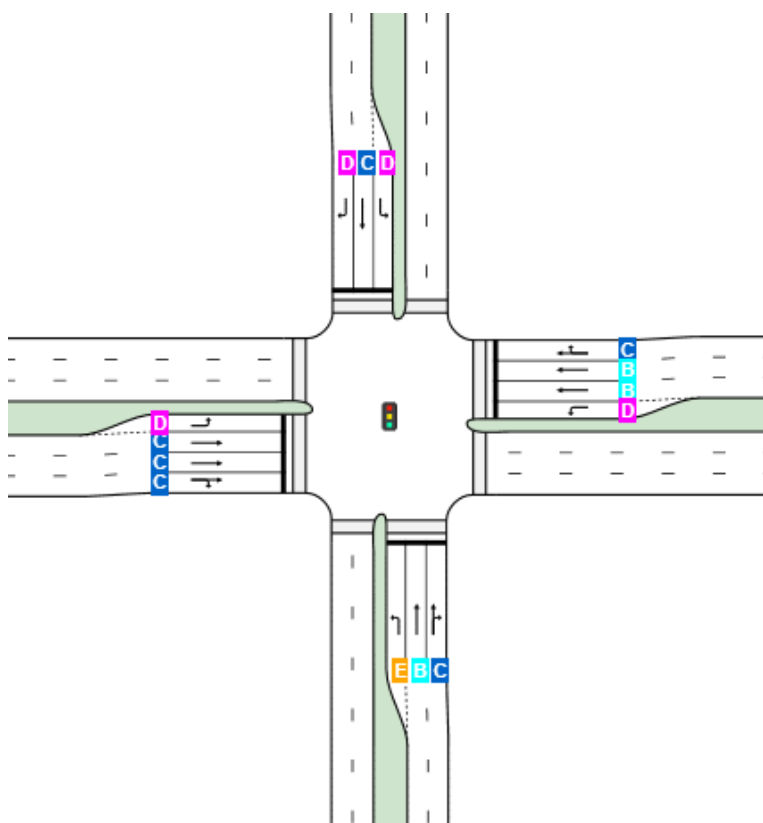
Slika 4.46. Razina usluge za svaki privoz i cijelo raskrižje



Slika 4.47. Vrijeme zakašnjenja za sedmu varijantu



Slika 4.48. Stupanj zasićenosti za sedmu varijantu



*Slika 4.49.* Razina usluge za sedmu varijantu

*Tablica 4.7.* Usporedba mjerenog i programskog vremena zakašnjenja nakon promjene BSF-a

PROMJENA BSF	SMJER Q1		SMJER Q2		SMJER Q3		SMJER Q4	
	Mjereno	SIDRA	Mjereno	SIDRA	Mjereno	SIDRA	Mjereno	SIDRA
DELAY ZA LIJEVO	45.49	37.50	44.04	47.80	29.94	60.10	41.56	46.40
DELAY ZA NAPRIJED	24.09	33.90	42.10	19.40	29.17	20.60	29.28	23.90
DELAY ZA DESNO	30.21	42.00	50.16	30.00	29.60	31.80	30.57	32.50

Iz prikazanih rezultata može se primjetiti da su tek sada za svaki pojedini prometni trak dobiveni stupnjevi zasićenosti manji od 1. Ipak, ova posljednja analiza je napravljena samo kako bi se dobio uvid što bi se trebalo promijeniti kako bi funkcioniranje raskrižja unutar software-a SIDRA u potpunosti mogli nazvati dobrim.

## 5. Usporedba rezultata

U ovom poglavlju uspoređeni su rezultati dobiveni software-skom analizom s mjerenim vremenima zakašnjenja (stopped-time delay).

U tablici 5.1. prikazana su vremena zakašnjenja za svaku pojedinu varijantu, za svaki privoz te za svaki manevar kretanja. Vidljivo je postupno smanjenje vrijednosti promatranog parametra, osim u četvrtoj varijanti gdje se povećao delay u manevrima kretanja gdje su prisutna zaustavljanja autobusa.

Nakon promjene bazičnog zasićenog toka može se utvrditi da su programski rezultati vrlo blizu mjerenim vrijednostima.

**Tablica 5.1.** Usporedba svih mjerenih vremena zakašnjenja s vremenima zakašnjenja dobivenim u programu SIDRA za svaki manevar kretanja

	SMJER Q1			SMJER Q2			SMJER Q3			SMJER Q4		
DELAY	Lijevo	Naprijed	Desno	Lijevo	Naprijed	Desno	Lijevo	Naprijed	Desno	Lijevo	Naprijed	Desno
1.VARIJANTA	175.40	36.40	65.60	65.20	71.60	114.30	152.40	41.80	49.70	55.00	26.20	39.20
2.VARIJANTA	168.00	36.10	63.20	62.80	63.20	108.10	144.20	41.10	49.10	54.10	26.10	39.10
3.VARIJANTA	113.80	34.80	54.80	54.60	54.80	86.20	98.20	38.10	46.40	50.10	25.30	38.10
4.VARIJANTA	113.80	34.80	64.10	54.60	54.80	110.50	98.20	38.10	46.40	50.10	25.20	38.20
5.VARIJANTA	75.40	34.80	51.30	52.90	34.00	79.90	82.30	20.80	31.80	49.20	24.80	34.90
6.VARIJANTA	36.90	34.80	46.00	52.90	29.00	38.80	83.30	21.70	31.60	49.20	24.50	33.10
PROMJENA BSF	37.50	33.90	42.00	47.80	19.40	30.00	60.10	20.60	31.80	46.40	23.90	32.50
MJERENO	45.49	24.09	30.21	44.04	42.10	50.16	29.94	29.17	29.60	41.56	29.28	30.57

## 6. Zaključak

Provedbom analize razine usluge raskrižja dolazimo do zaključka da se mjerene vrijednosti i vrijednosti dobivene proračunom u programu SIDRA međusobno razlikuju. Kako programske vrijednosti nisu dale realne rezultate, izvršena je postepena promjena parametara programskih vrijednosti s mjerenim vrijednostima kroz šest varijanti.

Provedbom varijanti rezultati su postajali sve realniji, ali ni nakon provedenih svih šest varijanti nismo dobili u potpunosti realne rezultate. Dokaz tomu je što na privozima Q1 i Q3, za lijeve skretače, vrijednost koeficijenta zasićenosti ( $v/c$ )  $>1$ , što u stvarnosti nije moguće jer su brojana samo ona vozila koja su prošla kroz raskrižje. Iz tog razloga provedena je i dodatna sedma varijanta kod koje smo ponovo mjenjali kapacitet toka (basic saturation flow) kako bi dobili vrijednost stupnja zasićenja ( $v/c$ )  $\leq 1$  za sve prilaze. Na ovaj način dobili smo realne rezultate približne mjerenim vrijednostima.

Može se reći da je funkcioniranje samog raskrižja na zadovoljavajućoj razini. Očekivano, najnižu razinu usluge imaju lijevi, a potom i desni skretači, dok vozila koja zadržavaju svoj smjer kretanja imaju najvišu razinu usluge.

## 7. Literatura

- [1] Roger P.Roess, Elena S.Prassas, William R.McShane: Traffic Engineering; Fourth Edition
- [2] Transportation Research Board: Highway Capacity Manual;Volume 3: Interrupted Flow
- [3]<https://maps.google.com>